

Mesa XY - Válvulas direcionais - Inversores vetoriais - Manutenção

www.mecatronicaatual.com.br

# MECATRÔNICA <sup>Atual</sup>

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL DE PROCESSOS E MANUFATURA

Ano 2 - nº9 - Abril-Maio/2003 - Brasil: R\$ 9,60 - Europa: € 4,30



## Sensores de posição

com tecnologia da magneto-restrição

## Analisadores industriais



## Distúrbios no fornecimento de energia

tipos de falhas e prevenção



## Mercado de robôs



# ÍNDICE

## Notícias

3

## Problemas e soluções

7

## Controle inteligente:

**será o fim dos cartões de entrada e saída?**

Entenda como a distribuição do controle inteligente dá mais autonomia aos dispositivos de campo e muda a configuração básica dos processos de automação.

9

## Mercado de robôs

**caminha para o "gargalo"**

Este artigo mostra algumas tendências do mercado de robôs no Brasil.

10

## Analísadores industriais

Aqui são apresentados os elementos que englobam a análise industrial e também os principais conceitos da instrumentação analítica

13

## Válvulas direcionais

Conheça os elementos aplicados no controle do sentido de movimento, força e velocidade dos atuadores pneumáticos.

15

## Mesa XY

A mesa XY é uma associação de vários componentes elétricos e mecânicos de alta responsabilidade, precisão e confiabilidade. Esse artigo trata destes componentes.

20

## Sensores de posição

**com tecnologia da magneto-restrição**

A tecnologia de sensor linear: a da magneto-restrição permite a construção de um sensor totalmente sem contato entre o cursor e elemento sensor, entre inúmeras outras vantagens.

26

## Protetores de linha

Veja o que pode estar presente, como perturbação, nas linhas de transmissão de energia ou de dados, e a maneira de fazer a melhor proteção.

30

## Inversores vetoriais:

**explorando os fundamentos**

Saiba o que acontece com o motor elétrico no ambiente do controlador e também o significado dos eixos Q e D aplicados no processo de controle vetorial.

33

## Imprecisão nas medidas

Entenda os conceitos de tomada de medição, grandeza e precisão da medida, mostra como é feita a classificação dos "erros" e apresenta os principais tipos de desvio.

37

## Comunicação serial

**na indústria usando o protocolo RS-232**

O protocolo RS-232 é uma das formas mais usadas para enviar dados de uma máquina a um computador, e vice-versa.

39

## Manutenção **preditiva e pró-ativa**

O que as vantagens das manutenções preditiva e pró-ativa trazem para os processos produtivos.

44

## Distúrbios **no fornecimento de energia**

Veja os principais tipos e como preveni-los.

46

## Tolerância geométrica - 2ª parte

Conheça os modos de representação do quadro de tolerância, elementos de referência e principalmente o conceito de campo de tolerância.

52

## Vistas **ortogonais e foto-realismo**

Crie vistas ortogonais com base em desenhos tridimensionais e utilize os recursos de renderização, aplicação de materiais e iluminação no AutoCAD.

58



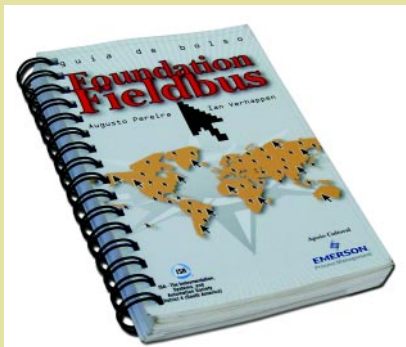
# MECATRÔNICA

## NOTÍCIAS

### Foundation Fieldbus vira guia de bolso

**O**s sete níveis do “Foundation Fieldbus” e toda a sua literatura didática são descritos por Ian Verhappen e Augusto Pereira no livro que leva o mesmo nome. Em formato de Guia de Bolso, o “Foundation Fieldbus” traz os níveis do protocolo, cabeamento, fontes de alimentação, documentação, integração do sistema, comissionamento, além da localização e reparo de defeitos.

Uma série de gráficos e significados de siglas foram incorporados ao trabalho para que o leitor se situe dentro da arquitetura de automação industrial. A proposta do livro é tornar-se uma fonte de referência para técnicos e engenheiros à medida que essa tecnologia vai sendo explorada. Os autores enfatizam que o guia de bolso “Foundation Fieldbus” não pretende ser um manual completo sobre tudo o que há para aprender sobre essa tecnologia. Ian e Augusto acreditam que o “Foundation Fieldbus” é uma tecnologia em constante evolução, motivo pelo qual seria impossível reunir todas as informações em um único trabalho.



Entre um capítulo e outro, os autores dão dicas sobre como sanar dúvidas na aplicação do “Foundation Fieldbus” ou obter a melhor performance desta tecnologia. Na última parte do trabalho, os autores apresentam toda a “sopa de letrinhas” que envolvem a automação e que são citadas no decorrer dos textos.

Augusto Pereira trabalhou na implantação do primeiro projeto de “Foundation Fieldbus” no mundo (fábrica da Deten, em Camaçari – Bahia) em 1994. Há dois anos, durante uma reunião da ISA – entidade internacional de engenheiros e instrumentistas – ficou sabendo que o canadense Ian Verhappen gostaria de escrever uma literatura explicativa sobre “Fieldbus”. Augusto, que já detinha *know-how* e material técnico sobre a tecnologia, aceitou de imediato.

Até o final de 2003, os dois autores lançarão o segundo livro referente ao assunto. Trata-se de uma aplicação prática de “Foundation Fieldbus” na Fyn crude Oil & Gas, empresa onde trabalha Ian Verhappen.

### Novos softwares para aquisição de dados

**A** Fluke acaba de acrescentar dois pacotes de software à sua linha de produtos para aquisição de dados no ambiente industrial. Desenvolvido pela Indusoft, o Fluke DAQ é indicado para a configuração de instrumentos e gerenciamento de tendências, enquanto que o Fluke HMI (*Human-Machine Interface*) amplia as capacidades dos Sistemas de Aquisição de Dados. Esta última ferramenta apresenta programação com base na “tecnologia orientada a objeto” para permitir que os usuários expandam e integrem com facilidade seus sistemas num grande número de características disponíveis.

### Yaskawa traz CLP para o Brasil

**A** Yaskawa Elétrica do Brasil passou a contar com uma família de controladores para implementar seus projetos de automação no Brasil. A proposta da empresa não é a de vender o produto de forma isolada, mas sim integrado a projetos onde possa fornecer seus painéis e inversores de frequência. Este último produto continua sendo o responsável por 50% da receita da empresa no Brasil, seguido de servo-acionamentos (20%), sistemas de engenharia (20%) e robôs (10%). Em 2002, a empresa alcançou faturamento de R\$ 35 milhões crescendo 20% em relação a 2001. Em nível mundial, a Yaskawa é uma empresa de US\$ 3 bilhões.

## Conversor Fieldbus para saída discreta

**A** Smar está lançando no mercado um conversor para saída discreta, em Fieldbus Foundation, que permite a integração entre o controle de sinal contínuo e o controle de sinais discretos. O instrumento é indicado para a geração de alarmes, válvulas "on/off", ativação de micromotores, sinalização, acionamentos, controles de bombas, esteiras, elevadores e outras cargas DC e AC.

Batizado de FR302, o produto integra a família de outros conversores da empresa que conversam em Fieldbus: IF302 para 4-20 mA; FP302 para pressão; DC302 para entradas e saídas discretas; e HI302 para o protocolo Hart. Internamente, o FR302 possui dois relés de estado sólido e é encontrado nas versões: dois contatos normalmente abertos, dois contatos normalmente fechados e um contato aberto e outro fechado.

A capacidade de "Link master" faz com que o FR302 trabalhe como "backup LAS", aumentando assim a disponibilidade do sistema. Segundo a empresa, uma interessante aplicação é a interface para atuadores elétricos, transformando-os em dispositivos Fieldbus, útil em atualização e reinstrumentação de plantas. O bloco funcional PID Step pode ser ideal em casos onde é necessário modular válvulas sem a requisição do retorno da posição real (*feedback*).



FR302, solução para interface fieldbus.

## Cursos e eventos

Acompanhe alguns dos Cursos, Feiras e Seminários que rondam o mundo da automação industrial. As entidades técnicas, faculdades e fabricantes apresentam vários temas interessantes que vão desde os sensores e medidores até os níveis mais complexos baseados em inteligência artificial.

### ISA

A *Instrumentation, Systems and Automation Society* (ISA), através de seu Distrito IV, promove em São Paulo, nos dias 22 e 23 de abril, o curso de "Variabilidade de processos: causas, consequências e auditorias para sua redução". Já em maio (dias 13 e 14) é vez de aprender mais sobre controladores lógicos no curso "A Norma IEC 61131-3 - Programação de Controladores". Maiores informações sobre esses e outros cursos podem ser obtidas pelo telefone (11) 5521-0296, ou através do endereço eletrônico: [info@isadistrito4.org.br](mailto:info@isadistrito4.org.br)

### Novitec 2003

De 16 a 20 de junho, a cidade de Paulínia (118 km a nordeste de São Paulo) será palco do evento "Novitec – Feira de Novidades em Tecnologias de Automação". Além de cobrir áreas da automação industrial, a feira terá algumas novidades como a exposição de ferramentas elétricas, mecânicas, pneumáticas, de corte, acessórios para máquinas operatrizes e injetoras. Também incluirá produtos do setor de energia, entre os quais, geradores, equipamentos de média e alta tensão, de iluminação e de conservação de energia. Outras informações pelo telefone: (19) 3844-3019 ou através do site da organizadora [www.wm2.com.br](http://www.wm2.com.br)

### Bicsi Brasil

Tudo sobre cabeamento estruturado, desde normas, infra-estrutura e automação predial e residencial até chegar à planta externa e *networking*. Esse é o foco do evento "Bicsi Brasil" que acontecerá de 20 a 22 de maio (das 12h às 20h) no Centro de Convenções Frei Caneca (São Paulo). De acordo com a entidade que promove o evento, o Brasil movimentará por ano US\$ 160 milhões com serviços de cabeamento. Informações sobre o "Bicsi Brasil-2003" podem ser obtidas através do (11) 3055-1310.

### Automação em processos metalúrgicos

A Associação Brasileira de Metalurgia (ABM) promoverá nos dias 15 e 16 de outubro, em Santos (litoral sul paulista), o VII Seminário de Automação de Processos. A principal atração do evento será a apresentação de soluções tecnológicas voltadas para a produção de ferro e aço. Na ocasião, a Siemens irá premiar a melhor solução inovadora em metalurgia. No período de 1994 a 2002, o segmento investiu US\$ 13,9 bilhões em desenvolvimento tecnológico. Mais informações podem ser obtidas através do site [www.abmbrasil.com.br](http://www.abmbrasil.com.br) ou pelo telefone (11) 5536-4333 com Luciana Solitão.

### Altus Partner's Automation

Com o objetivo de estreitar o seu relacionamento com o mercado de automação, a Altus realiza em São Paulo o "Altus Partner's Automation Workshop 2003". Em sua segunda edição, o evento será realizado nos dias 7 e 8 de maio no Hotel Novotel-Center Norte (das 13h às 21h). Além da exposição de produtos parceiros da Altus, o evento também terá cursos e palestras. Os visitantes poderão mexer em alguns equipamentos no laboratório (que será montado no local). Informações através do telefone (51) 589-9521 com Mariângela Zambom ([mari@altus.com.br](mailto:mari@altus.com.br))

### Simpósio em Bauru

O Campus da Unesp em Bauru (343 km a noroeste de São Paulo) realizará, de 14 a 17 de setembro deste ano, o VI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI). Promovido pelo Departamento de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia, e pela rede *Manufacturing Automation Network*, o SBAI é promovido a cada dois anos e reúne pesquisadores da área de automação que utilizam técnicas de inteligência artificial e áreas correlatas. Nos três dias de evento haverá *workshop*, minicursos e competição de robôs móveis autônomos. Mais informações: (14) 221-6116 c/ Marcelo Franchin ou e-mail: [visbai@feb.unesp.br](mailto:visbai@feb.unesp.br)



## HP e Microsoft divulgam tecnologia XML no país

Uma parceria entre a HP e a Microsoft está permitindo divulgar a tecnologia XML (*eXtensible Markup Language*) em todo o território nacional. Nos Estados definidos pelas duas empresas há a participação de um terceiro parceiro que fica responsável pela seleção de bolsistas, participantes de empresas e estudantes de graduação. Em São Paulo, por exemplo, o IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas S/A – é a terceira ponta responsável pela disseminação de novas tecnologias.

Em um ambiente dotado de vários laboratórios, estudantes e profissionais poderão desenvolver softwares com padrões de qualidade reconhecidos internacionalmente. O acesso a essas ferramentas permitirá a integração de sistemas voltados para o varejo, meio ambiente e cadeias produtivas.

“A criação do centro em parceria com a Microsoft represen-

ta a oportunidade de empregar mais recursos no setor de pesquisas”, afirma Rodolpho Cardenuto, vice-presidente do grupo de sistemas pessoais da HP Brasil. Um dos primeiros projetos acontece com a Associação Paulista dos Cirurgiões Dentistas, na área de ensino a distância.

O centro de tecnologia XML também foi montado na cidade de Recife com a participação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, o Centro de Estudos e Sistemas Avançados do Recife, a Empresa de Fomento de Informática de Pernambuco, a Quali Software e o complexo tecnológico Porto Digital.

Para o diretor-presidente do Porto Digital, Pier Carlo Sola, o centro traz boas perspectivas para a região. “A inauguração do Centro de Tecnologia XML, focado na qualidade do software, representa um passo fundamental na construção do ecossistema do Porto Digital”, observa.

André Campos/divulgação



São Paulo e Recife já contam com Centro tecnológico em XML

## Manutenção entra na era informatizada

Responsável pelo perfeito funcionamento de máquinas, a manutenção ganha novos aliados à medida que o Brasil desenvolve seu parque industrial. Alguns desses aliados são os sistemas informatizados que ganham espaço no mercado devido à facilidade que proporcionam a engenheiros e técnicos.

Mais conhecidas como softwares de manutenção, essas ferramentas deram um grande salto na “sub-área” denominada manutenção preditiva. Hoje, há empresas fabricantes de equipamentos, como motores e válvulas, que produzem seu próprio software de manutenção preditiva, ou como preferem alguns “software de gerenciamento de ativos”. Também é possível encontrar empresas que trabalham nesse nicho de mercado específico. Encontram-se nessa categoria empresas como Datastream e MRO Software que, respectivamente, são detentoras das soluções MP2 e Máximo.

Já a SKF, outra empresa que possui soluções para a manutenção informatizada, lançou recentemente o *aplitude*, ferramenta que integra sistemas para o monitoramento de condições de máquinas, diagnósticos informatizados e SDCDs (Sistemas Digitais de Controle Distribuído).

“Esta iniciativa é mais um passo na orientação da SKF em apoiar clientes industriais através de serviços baseados em tecnologia desenhados para reduzir custos totais da operação, maximizar eficiência na manutenção e aumentar a produção por meio da otimização da eficiência do ativo”, comenta Phil Knights, presidente da SKF Service Division. De acordo com informativo da empresa, o *aplitude* tem o objetivo de auxiliar na informatização do processo e suporte à tomada de decisões.

## Advantech reduz em 25% preço de Tablet PC

Apostando na expansão do mercado brasileiro de computadores portáteis, a Advantech Brasil deverá iniciar a fabricação nacional de *Tablet PCs* ainda em 2003. A estratégia de divulgação da empresa também inclui a redução de 25% do valor do *MobiPanel*, seu modelo de Tablet PC lançado em agosto do ano passado.

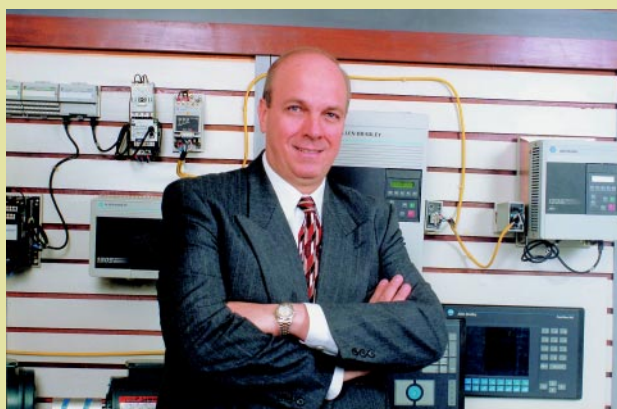
O *MobiPanel* foi desenvolvido para oferecer uma solução *wireless* que permita acesso a banco de dados via Internet ou Intranet em tempo real. “O grande diferencial é sua resistência”, avalia Carlos Alberto Farineli, diretor de tecnologia da Advantech.

Com sistema operacional Windows CE 3.0 e processador Intel StrongARM de 206 MHz, o *MobiPanel* foi desenvolvido para atuar em linhas de produção industrial, redes varejistas, distribuidoras, hospitais, construção civil, telecom e empresas de *utilities*.

## Rockwell Automation cresce 13% e firma parcerias acadêmicas

**A** Rockwell Automation, uma das gigantes da automação industrial, encerrou seu ano fiscal de 2002 com um crescimento de 13%, o que representa um faturamento bruto de R\$ 194 milhões. A área de sensores foi a que representou a maior taxa de crescimento com 40%, seguida pela parte de softwares com 30%, inversores de frequência com 22% e centros de controle de motores com 29%.

Vale lembrar que as empresas de automação no Brasil tiveram fôlego maior a partir de agosto de 2002 com a desvalorização mais acentuada do real. Os fabricantes que importam produtos repassaram parte dos custos, enquanto que as empresas com produção local tiveram seus preços mais competitivos e abriram novas portas para a exportação.



Talanskas: Exportações abriram novas portas.

Seguindo essa tendência, a Rockwell Automation enviou 20% da sua produção para a matriz norte-americana. A exportação já responde por 10% da receita da subsidiária brasileira. “As exportações que tinham por principal destino a matriz nos EUA, começaram a abrir novas portas”, disse Danilo Talanskas, presidente da subsidiária brasileira.

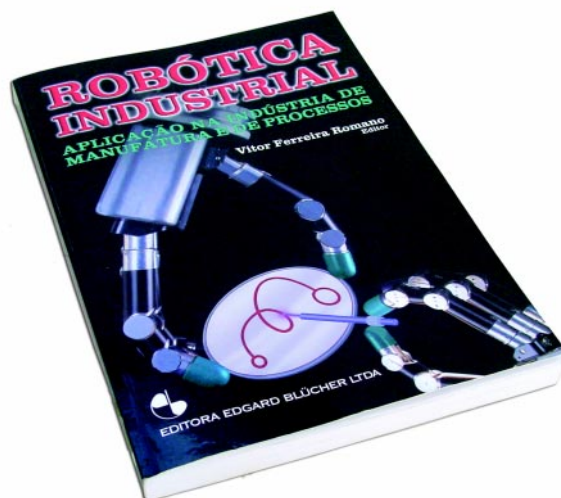
A empresa também centrou foco na área acadêmica para aumentar o intercâmbio de informações com professores e com os futuros funcionários de chão-de-fábrica das companhias. Em 2002, ela patrocinou a modernização das instalações do CPCT – Centro de Pesquisa e Capacitação Tecnológica em Automação Industrial – da USP; ajudou a criar o Laboratório de Automação Industrial da Faculdade de Engenharia da Fundação Álvares Penteado; e assinou acordo com a Universidade de Brasília para acelerar o processo de aprendizagem do quadro de professores e alunos em geral.

Em 2003, a Rockwell pretende aumentar seus laços com a área acadêmica. Uma das ações prevê a concessão de bolsas de iniciação científica para alunos que desejam continuar na área acadêmica. Outro foco de parcerias da empresa acontece com firmas que, até então, podiam ser consideradas como concorrentes. Foi o caso do licenciamento que a multinacional americana fechou com a Smar. Desde o ano passado, a Rockwell passou a desenvolver produtos com a tecnologia “Foundation Fieldbus”. Segundo alguns diretores da Rockwell, o único objetivo é obter melhores resultados na área de processo.

## O mundo da ciência robótica

**Q**uais são os tipos de robôs utilizados no parque industrial? Quais as tendências e as aplicações especiais? As respostas dessas perguntas estão sendo respondidas no livro “Robótica Industrial – Aplicação na Indústria de Manufatura e Processos”. Editado pela Edgard Blücher, o livro teve a coordenação de Vitor Ferreira Romano, professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro e apresenta essa fascinante máquina de produção industrial.

Em 256 páginas, o trabalho foi dividido em três partes para uma melhor organização dos assuntos. Em “Fundamentos Elementares”, o leitor tem uma noção do que estuda a ciência robótica; em “Robótica Aplicada”, o foco é apresentar casos típicos de manufatura; e em “Complementos”, o leitor fica conhecendo as potencialidades do uso dessas máquinas e seu impacto econômico social.







# Problemas e SOLUÇÕES

## Defeitos em contadores...o que fazer?

Alaor Mousa Saccomano

**P**or mais que os dispositivos de acionamento continuam evoluindo sempre, em muitos casos, equipamentos consagrados por sua robustez e desempenho nunca “caem de moda”. É o velho clichê: “em time que está ganhando...”, assim, para manobrar cargas em vários ciclos, o contator (**figura 1**) ainda é o melhor produto.

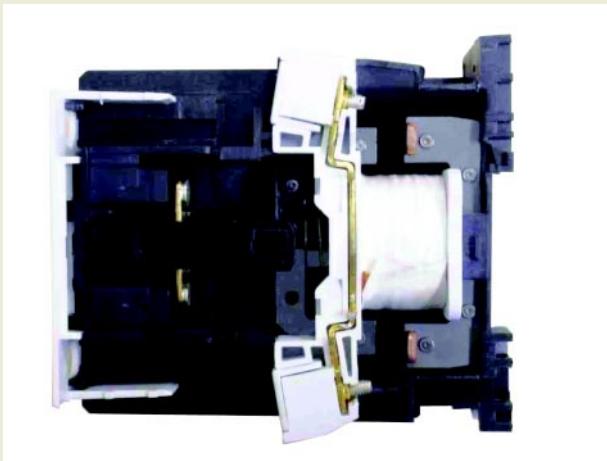


Figura 1 - Contator em corte.

No ambiente fabril, os agentes agressores estão sempre presentes: atmosferas alcalinas, umidade, vibração, variações de tensão de alimentação, poeiras, óleos e soluções, entre tantos outros que tendem a diminuir a vida útil dos componentes, principalmente daqueles que possuem movimento, como no caso do contator. E aliando-se a isso, uma manutenção preventiva/preditiva pobre e desconhecimentos sobre aspectos de cargas e manobras (categorias de emprego e classe de operação de tensão – princípios básicos da norma IEC947-4-1) fazem com que um componente que poderia resistir por quase 1 milhão de manobras (dentro dos limites normalizados), não dure mais do que seis meses.

Então, veremos algumas dicas que poderão salvar a situação e melhorar muito o desempenho dos equipamentos, que são excelentes para manobrar motores e cargas altamente indutivas, e até puramente resistivas.

Basicamente, um contator é uma chave magnética composta de:

- conjunto bobina
- conjunto de contatos
- carcaça de suporte.

Assim, poderemos agrupar os principais defeitos de modo a abranger as principais partes do contator.

### DEFEITOS NA BOBINA

A bobina é o coração do contator. É graças a ela que o mesmo realiza o movimento automático de atrair os contatos. Os principais problemas apresentados com relação à bobina são os seguintes:

#### Queima por subtensão:

Quando uma bobina é submetida a valores de tensão inferiores aos estipulados pelos fabricantes, isto é, subtensão, ocorrem a dilatação do conjunto bobinado e também deformações no suporte da bobina (**figura 2**) de forma que o núcleo fica preso no mesmo. Tensões inferiores às definidas na classe de operação (Classe 1: 80% da tensão nominal da mesma para tensão mínima) levam a este tipo de dano. Normalmente, estes eventos acontecem por distúrbios na rede de alimentação e quedas de tensão devidas a erros de dimensionamento, sobrecargas na rede, linhas muito distantes da alimentação, cabos subdimensionados e maus contatos nas conexões. Uma investigação minuciosa em equipamentos que são geralmente abordados por estes defeitos, observando os problemas causadores já citados, são suficientes para resolver esta situação. Além de comprometer e danificar permanentemente o conjunto

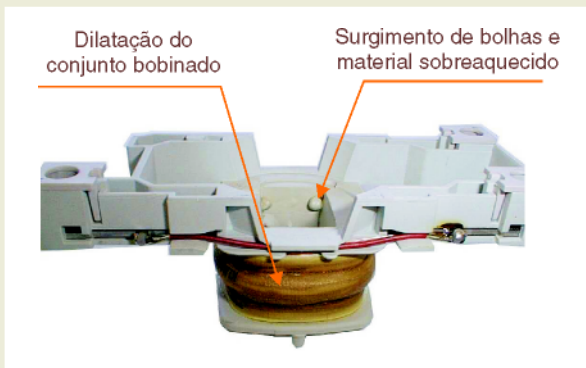


Figura 2 – Queima por subpressão.

bobinado, a subtensão pode não propiciar o total fechamento dos contatos de força, levando-os a se danificarem.

### Queima por sobretensão:

Quando a bobina é sujeita a tensões superiores ao valor máximo especificado (110% do valor nominal quando em Classe 1), surge este tipo de defeito. Normalmente, surtos e rajadas de tensão (picos de alta tensão) são os responsáveis pelo ocorrido. É facilmente notado o escurecimento da isolação (**figura 3**) e deformações no corpo de bobina (fica uma fina faixa escura na isolação). Os surtos de tensão são grandes descargas únicas nas bobinas. As rajadas são caracterizadas por valores pouco menores que os surtos, mas mais repetitivos.

Os principais motivos para este tipo de defeito ser freqüente são o mau dimensionamento do sis-



Figura 3 – Queima por sobrepressão ou surto.

tema de alimentação da bobina, a falta de um transformador de comando para também isolar o comando do sistema dos outros compartimentos do circuito e quando um mesmo contator aciona várias cargas indutivas ao mesmo tempo. Em contadores de comando, deve-se ter sempre em mente o respeito aos valores da categoria de emprego do mesmo (na maior parte dos casos AC-15).

### Ruído ou zumbido:

É caracterizado por problemas nos contadores quando têm entre seus núcleos resíduos ou partículas sólidas, ou até o anel de curto-circuito com pequenos rompimentos, quebrando o circuito magnético que é responsável por manter o contator atracado quando da passagem por zero volts no ciclo da alimentação senoidal em AC. Em qualquer caso, nunca lixe o núcleo de um contator, pois removerá as camadas protetoras anti-oxidantes, danificando-o por completo.



# Controle Inteligente: Será o Fim dos Cartões de Entrada e Saída?



Sérgio Vieira

**E**m boa parte das centenas de fábricas e indústrias brasileiras, a arquitetura de um processo de automação segue uma configuração básica: na base do sistema estão os dispositivos e sensores; em um nível acima estão o controlador lógico programável (CLP) e as IHMs (Interfaces Homem-Máquina); mais acima está o sistema supervisor e os sistemas de gestão. Durante um bom tempo, esse tem sido o esquema utilizado quando se pretende automatizar um processo industrial. Entretanto, novas filosofias de controle têm aparecido no ambiente industrial que mudam um pouco o aspecto dessa pirâmide.

Uma dessas filosofias é a distribuição do controle inteligente que dá mais autonomia aos dispositivos de campo e muda a configuração do esquema descrito acima. Essas plataformas são baseadas em PC e utilizam softwares modulares para gerenciamento de ativos integrados. Esse novo conceito apareceu de forma mais abrangente há dez anos, quando percebeu-se que o controle de uma planta industrial poderia ser feito por um PC, em vez de se utilizar um controlador específico.

"Ao invés de ter um CLP e um SDCD, você tem a distribuição do controle inteligente", diz Augusto Pereira, engenheiro da Emerson Process Management, uma das empresas que caminha nessa filosofia de controle e que já implantou vários sistemas no país. Vale lembrar que esse conceito caminha apenas em plantas de processo industrial (indústrias de açúcar e álcool, petroquímica, papel e celulose, química, petróleo, etc). A filosofia não

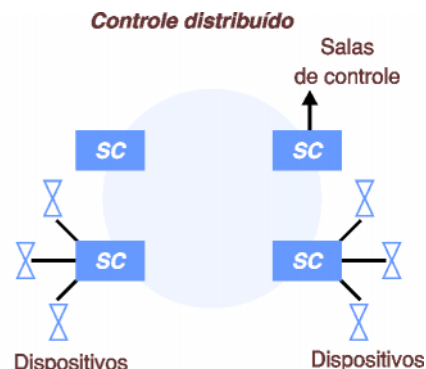
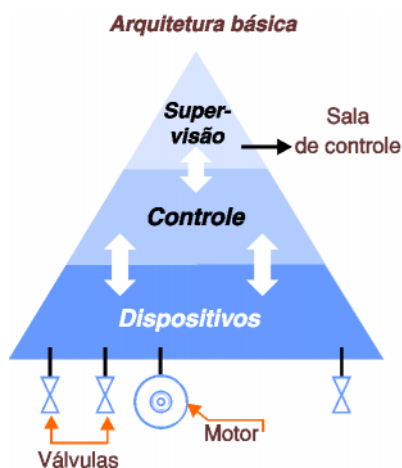
é empregada em indústrias de manufatura (automobilística, eletrodomésticos, etc).

Apesar da distribuição do controle inteligente ser apoiada em PC, pelo que foi constatado pela Revista Mecatrônica Atual, o controlador lógico não deixa de existir. "Temos quatro salas de controle e 26 controladores", diz Diego Zucal, líder de automação da Planta Nordeste da Monsanto. De acordo com Zucal, a empresa distribuiu o controle com a idéia de levar a inteligência para o campo, porém, algoritmos mais avançados de controle continuam a ser desempenhados pelos controladores. "Para quem quer fazer alterações futuras fica complicado deixar de lado os cartões de entrada e saída e o módulo inteligente". A Planta Nordeste da Monsanto (Camaçari/BA), que foi inaugurada em 2001, tem 8 mil pontos de controle.

Para Paulo Rocha, gerente de produto, a descida para o campo da inteligência de controle sempre

aconteceu e nunca vai parar, ou seja, encontra-se sempre em evolução. "Os módulos de entrada e saída (I/Os) nunca morrerão porque os controles são múltiplos", prevê. Para ele, a inteligência totalmente distribuída demandaria uma eficiência muito grande dos instrumentos de campo, coisa que não acontece ainda hoje. "A coordenação dos trabalhos fica muito difícil", disse Rocha, lembrando que sistemas baseados em PC e, por consequência em Windows, podem apresentar sérios problemas.

**Terceirização** - Considerado como o coração de um processo automatizado, o controlador lógico programável, cada vez mais, vem se tornando uma *commoditie* entre os fabricantes desses equipamentos. Hoje, 75% de um CLP é baseado em metodologias de controle, ou seja, software - parte que não pode ser terceirizada. Nesse avanço, o Brasil perdeu a oportunidade de fabricar o hardware para países como a China e a Índia. □



# Mercado de robôs caminha para o “gargalo”

Sérgio Vieira

**C**onsiderado como ferramenta-símbolo quando se fala em automação industrial, o robô vive um drama para a disseminação de seu uso e operação no Brasil. Há um enorme interesse no seu emprego em processos industriais, entretanto, a falta de treinamento de usuários e conhecimentos de programação impede seu desenvolvimento no parque industrial brasileiro.

O “gargalo” vivido por essas máquinas acontece, principalmente, nas empresas de pequeno e médio porte. Nessa faixa industrial de empresas, o robô fica limitado a executar tarefas repetitivas, limitando-se à produção de um único produto. “Seria muito importante que os usuários usufríssem ao máximo a capacidade dessas máquinas para a produção de diferentes produtos”, avalia Vitor Ferreira Romano, profes-

**O Brasil possui hoje 7 mil robôs instalados.  
Há dez anos não passavam de 500.**

sor do Departamento de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Dados da Rede de Automação da Manufatura (Manet) estimam que 60% dos robôs instalados no Brasil estão executando serviços de solda e, mesmo assim, sem muita criatividade na exploração dos parâmetros da soldagem. Geralmente, essas máquinas caminham na aplicação soldagem/pintura, característica básica das multinacionais de veículos, as quais, respondem por 80% da base de robôs instalados.

“Poucos robôs são aplicados na montagem, inserção de *chips* e outras tarefas menos convencionais e que alavancariam a pequena e média empresa de base tecnológica”, co-

menta José Reinaldo Silva, professor do Departamento de Mecatrônica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Juntamente com o professor Vitor Romano e outros quinze pesquisadores de várias Universidades do país, ele coordena a Rede Manet.

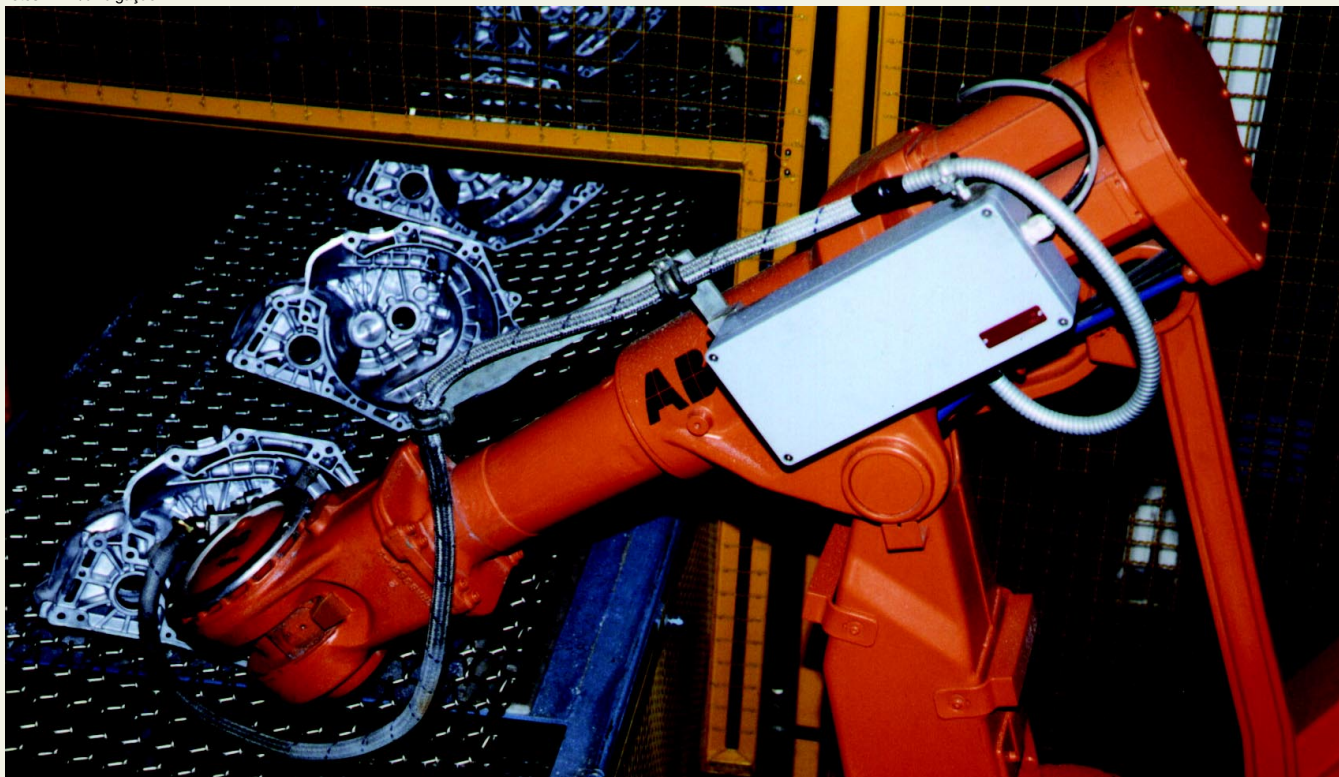
Para resolver o problema de reprogramação de robôs, a terceirização tem sido apontada pelos pesquisadores como a alternativa mais econômica que as empresas estão encontrando para reprogramar robôs. Os raros profissionais existentes no mercado ficam encarregados de elaborar todo o planejamento e treinamento necessários para a aplicação pedida pelo cliente.

Se o robô pode desenvolver outras funções dentro de uma empresa, qual seria o motivo então para a vulgarização do uso dessa máquina e o desinteresse em reprogramá-lo?





fotos: ABB/divulgação



40% do preço de um robô corresponde aos impostos.

Talvez a resposta esteja dentro da indústria automobilística que, como foi citado acima, concentra a maioria dessas máquinas.

Empresas como Ford, GM e Volkswagen possuem em média 200 robôs instalados em diversos setores da fábrica (soldagem, pintura e estamparia). Só a Ford instalou mais de 240 robôs na sua unidade de Camaçari (BA), inaugurada em outubro de 2001. Por se tratar de empresas estrangeiras, a decisão de quais, quantos e como esses robôs serão utilizados, vem das matrizes.

"Nesse cenário, as aplicações de cada robô estão intimamente associadas a sua função dentro da cadeia produtiva", comenta Vitor Romano. As montadoras promovem o treinamento dos técnicos que irão operar os robôs, segundo as características operacionais que eles devem enfrentar no dia-a-dia. Essas operações podem ser encontradas em qualquer outra planta industrial já em funcionamento, seja na Europa, EUA, Argentina ou Turquia. "Isto significa que o apren-

dizado segue o *know-how* pré-existente e tem um forte componente prático e imediatista". Com essa forma de aprendizado, as montadoras têm conseguido suprir as necessidades do mercado automotivo que são volume de produção e similaridade de operações realizadas, mesmo que em modelos de veículos diferentes.

O desinteresse em programação de robôs pode ser sentido em cursos realizados por empresas como a Yaskawa, uma das quinze fabricantes que atuam no país. "Houve vários cursos que realizamos que não apareceu ninguém", argumenta José Luiz Rubinato, gerente geral da Yaskawa Elétrica do Brasil. Na sua avaliação, o mercado brasileiro consome hoje em torno de 100 robôs/ano. Aumentos significativos nesse número só acontecem quando há a implantação de fábricas multinacionais, como foi o caso da Ford. Vale lembrar que fatos como esse não acontecem todo dia no Brasil. Na Yaskawa, o faturamento com robôs representa 10% da receita.

Na Kuka Roboter, que tem apenas o robô industrial como produto, o parque instalado já chega a 900 unidades. Seu principal cliente é a Volkswagen (VW) que tem apenas robôs dessa marca em todas as suas plantas industriais. Parte das suas vendas começa a caminhar para a indústria alimentícia, produtos de higiene, autopeças, polimentos de metais, etc.

Para os pesquisadores, a base instalada e que deve ser operada no dia-a-dia é mais importante que o número de unidades vendidas. Mas, mesmo nesse ponto, parece que há um déficit na mão-de-obra qualificada. "Boa parte dos cursos oferecidos são teóricos, as partes de aplicação, inserção no chão-de-fábrica, flexibilidade e reaproveitamento de tarefas não são sequer citadas", argumenta José Reinaldo, lembrando que os profissionais se formam engenheiros mecânicos, mecatrônicos, elétricos e alguns em Ciência da Computação. Nenhum deles vai trabalhar para uma firma que precisa de um bom técnico programador *offline*. A grande maioria dos técnicos que operam os robôs têm cur-

sos de curta duração e voltados apenas à operação básica do equipamento, em geral fornecidos pelo próprio representante da marca.

José Reinaldo vê a necessidade da pequena e média empresa explorar a flexibilidade de *sites* e máquinas para promover a sua inserção no mercado moderno, e isto implica em contar com técnicos um pouco mais especializados. Na sua opinião, o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) é o único lugar do Brasil onde se formam técnicos para aplicações gerais de Robótica.

Pouco gente sabe, mas a Robótica é uma ciência que reúne várias áreas do conhecimento. Além do aspecto de programação, para que um robô possa funcionar, é necessário ter as mínimas condições para sua instalação "física", disponibilidade de energia, unidades de potência corretamente dimensionadas, escolha de garras e ferramentas adequadas, "lay-out" do chão-de-fábrica, logística (suprimento de componentes e matéria-prima, sincronia de operações, movimentação de peças, embalagem, vendas e serviços pós-venda), testes para ajuste dos parâmetros, manutenção preventiva e corretiva, etc.

**Vanguarda** – Apesar das dificuldades, o Brasil é considerado como um dos países de elevado conhecimento no campo da Robótica. Quando a oportunidade aparece, há o desenvolvimento de projetos bem sucedidos que vão da área industrial ao campo do entretenimento. Só para citar alguns: A UFRJ desenvolveu um robô para atuar em extensas lâminas de água; já a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) trabalha num robô que atua em inspeção da rede elétrica; na Universidade Estadual Paulista (Unesp) o trabalho foi em cima de um robô para inspeção da rede de água; a Universidade de Campinas (Unicamp) desenvolveu um robô para auxiliar deficientes; o próprio professor Vitor Romano foi quem desenvolveu o robô acoplado de uma câmera e que atua no Sambódromo do Rio de Janeiro durante os dias de carnaval.



No Brasil, o robô está limitado a repetição de movimentos.

Empresas	Nº de robôs*
ABB	1800
Kuka	900
Fanuc	300
outras empresas	4000

\*fonte: empresas

Robôs industriais instalados no Brasil.

A construção de robôs industriais requer um elevado investimento financeiro até chegar ao desempenho apresentado pelos fabricantes. Diversas empresas de tecnologia nacional seriam capazes de desenvolver esses equipamentos, porém o grande número de concorrentes internacionais no mercado, que já está saturado, vem causando uma substancial redução do custo para a aquisição dessas máquinas. Esse fato vem inibindo as iniciativas de se produzir robôs no país. Em aplicações não industriais, as indústrias e instituições de pesquisa nacionais podem facilmente concorrer no mercado.

Cerca de 40% do preço de um robô industrial hoje vem dos impostos. O preço dessas máquinas cai pela metade depois de um ano de uso. A ligação maior entre fabricante e seus clientes está no controle da máquina. Depois de dez anos de uso, um robô manipulador, por exemplo, está em bom estado, mas com controle obsoleto. Para resol-

ver esse problema, a Rede Manet tem um projeto de fazer *retrofitting* desses robôs substituindo o controle original. O trabalho, que é desenvolvido junto com laboratórios de Portugal, possibilita ter uma máquina velha, mas em bom estado. O controle é feito diretamente do PC e pode impulsionar a base tecnológica na pequena e média empresa, principalmente, naquelas que visam o mercado internacional. Com o robô é possível atingir padrões de qualidade e produção num curto espaço de tempo e, conseqüentemente, aumentar a carteira de clientes.

O robô de solda é o mais consumido por esses novos clientes que estão aparecendo no mercado. Indústrias de autopeças e de eletrodomésticos (principalmente a linha branca: geladeira, fogão, *frezzer*, etc.) passaram a ter uma maior redução de custos de mão-de-obra, redução com custos de materiais e elevado índice de segurança. □



# Analísadores industriais

Gilberto Branco

Instrumentação  
analítica de  
processo

Instrumentação  
analítica de  
laboratório

de uma amostra do processo que por ele flui continuamente.

- **Sistema de amostragem** - Equipamento de operação, em geral automático, com a finalidade de retirar continuamente do processo, uma amostra, enviando-a, após preparação, ao analisador.

Os analisadores são construídos, geralmente, de modo a receberem uma amostra dentro de certas condições padronizadas de pressão, temperatura, umidade, poeira e corrosividade. As condições da amostra, dentro do processo, fogem, geralmente, dos padrões estabelecidos para o analisador.

O sistema de amostragem age como elo de ligação entre o processo e o analisador, transformando um fluxo, inicialmente impróprio para análise, em uma amostra representativa e perfeitamente mensurável.

Devido à infinidade de processos existentes nas indústrias, existe, conseqüentemente, uma variedade de sistemas de amostragem, cada qual adaptado às condições peculiares da amostra a ser analisada.

## INSTRUMENTAÇÃO ANALÍTICA

### Conceitos gerais

- **Análise qualitativa** - É a determinação dos componentes de uma mistura sólida, líquida ou gasosa.

- **Análise quantitativa** - É a determinação da quantidade de cada componente de uma amostra. Ela é expressa em concentração numa das seguintes unidades: % Vol, g/m<sup>3</sup>, ppm Vol, ppb Vol.

### Classificação

A instrumentação analítica se classifica em instrumentação analí-

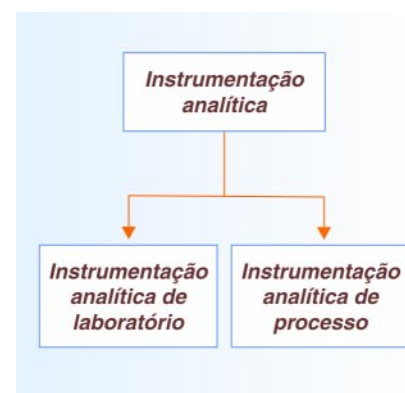


Figura 1 – Classificação.

tica de laboratório e instrumentação analítica de processo (**figura 1**).

A **figura 2** esquematiza a configuração básica de um sistema para instrumentação analítica de processo, que será o objetivo desta série de publicações. Os analisadores de processo podem (ou não) ter a necessidade de utilizar um sistema de amostragem específico. Usualmente, existem tipos de analisadores que não necessitam de tratamento de amostra e têm o sensor em contato direto com o processo, por exemplo, o pH e condutividade para análise de líquidos e óxido de zircônia para análise de gás (Oxigênio). Em outros a instalação de um sistema específico para o condicionamento de amostra é imprescindível pois, do contrário, os analisadores sofreriam danos irreversíveis tornando a operação cara e ineficiente, por exemplo, a análise de gases em geral (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, etc.).

**E**staremos apresentando, a partir desta edição, uma série de artigos visando desmistificar os “segredos” da instrumentação analítica aplicada a processos industriais. O objetivo deste trabalho é apresentar os princípios de medição das variáveis mais utilizadas na indústria, bem como, apresentar e comentar os problemas mais comuns nestes tipos de processos e suas soluções. Estamos iniciando este trabalho com uma introdução ao assunto com alguns comentários pertinentes.

Os sistemas de análise industriais englobam, geralmente, os seguintes elementos:

- **Instrumento de análise ou analisador** - Equipamento sofisticado, de operação automática e independente, que tem a finalidade de medir uma ou mais características

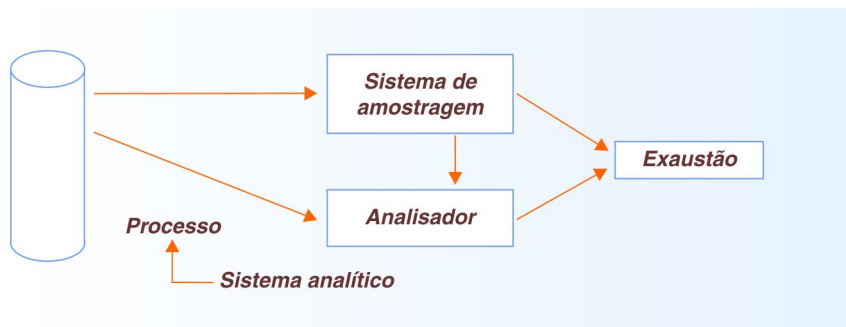


Figura 2 – Esquema básico de configuração de um sistema analítico

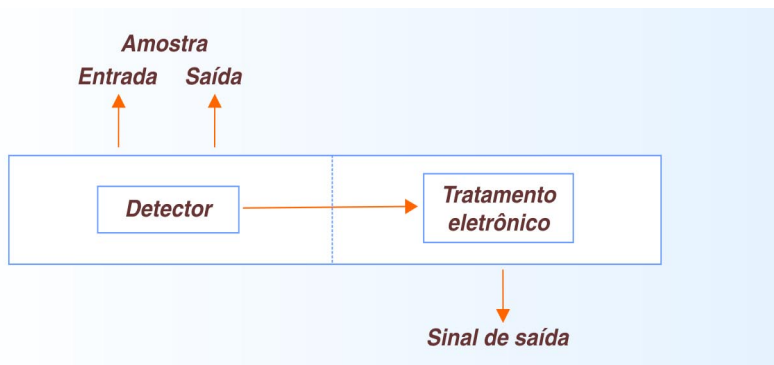


Figura 3 – Principais partes do analisador.

## FUNÇÕES DO SISTEMA DE AMOSTRAGEM

No entanto, não podemos esquecer que o sistema de condicionamento de amostra deve ser capaz de compatibilizar as características dela às condições necessárias a perfeita operação do analisador, porém a amostra nunca pode perder a sua representatividade nas condições do processo para a variável sob análise.

O sistema de amostragem é constituído por um conjunto de equipamentos que possibilitam:

- A captação da amostra;
- O transporte da amostra;
- O condicionamento da amostra;
- O descarte / reprocesso da amostra;
- A admissão de padrões.

## FUNÇÕES DO ANALISADOR

O analisador de processo tem a função de fornecer dados para que, através da intervenção do homem ou de controle automático, seja possível:

- Manter a **segurança** de homens e equipamentos, permitindo ao usuário a intervenção ou a monitoração das condições do processo / ambiente visando a manutenção das condições mínimas para a manutenção da segurança pessoal e patrimonial. Por exemplo a monitoração da quantidade de CO (Monóxido de Carbono) emitido durante um processo de queima.

- Otimizar a **eficiência** de equipamentos, visando um melhor aproveitamento da matéria-prima e, por conseguinte, a redução dos custos operacionais da planta. Por exemplo a medição do teor de O<sub>2</sub> (Oxigênio) em uma caldeira para manutenção da melhor relação ar/combustível para que a queima seja adequada.

- Melhorar/manter a **qualidade** de produtos fabricados, através da manutenção da variável monitorada dentro dos padrões exigidos por normas ou regulamentos. Por exemplo medir o pH de produtos alimentícios ou remédios para que o produto atenda a legislação.

- **Controlar a emissão** de efluentes industriais, visando o aten-

dimento à legislação ambiental vigente no local, bem como o bem estar de funcionários e da comunidade onde a empresa se localiza. Por exemplo monitorar a emissão de gases tais como, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, etc. em chaminés de caldeiras, termoeletricas, etc.

## PRINCIPAIS PARTES DO ANALISADOR

Dentre outros componentes do analisador propriamente dito podemos destacar basicamente o detector, que é o “coração” do equipamento e que é capaz de converter a variável física ou a reação química em sinal elétrico, sinal este que será enviado então para ser tratado eletronicamente e convertido para fornecer ao usuário um sinal elétrico/eletrônico padrão para poder ser utilizado pelo sistema de controle da planta onde o equipamento estiver instalado (figura 3).

## DESEMPENHO DO SISTEMA ANALÍTICO

**Precisão dos resultados e continuidade de funcionamento** - Esta é a principal preocupação do usuário quanto a um sistema de análise e para que possa ser obtida, o usuário deve obrigatoriamente atentar para os pontos, a seguir, antes e após a implantação de um equipamento de análise:

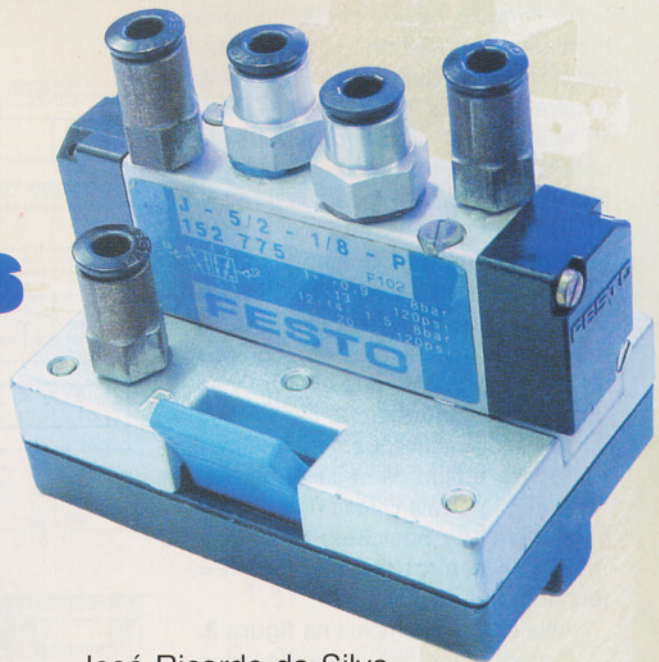
- Projeto
- Aplicação adequada
- Manutenção preventiva e corretiva
- Sobressalentes - disponibilidade pelo fabricante.

De nada adiantará a aquisição de um excelente equipamento se o usuário não atender estas orientações básicas, pois corre-se o risco de termos aplicado uma grande quantidade de dinheiro em um produto que não atenderá a expectativa.

Em nossas próximas edições estaremos apresentando uma visão mais detalhada dos tipos de medição, bem como, das soluções para os problemas mais comuns apresentados por aplicações que utilizam analisadores industriais. Até lá. ■



# Válvulas Direcionais



José Ricardo da Silva

Na edição anterior, mostramos que os sistemas pneumáticos são utilizados para realizar movimentos em máquinas e equipamentos automáticos. Os atuadores executam os movimentos, considerando três variáveis básicas para serem controladas: sentido de movimento, força e velocidade. Os elementos pneumáticos aplicados no controle destas variáveis são chamados de válvulas.

**E**stas válvulas estão presentes em todos os circuitos pneumáticos e sua função é controlar o sentido de movimento do atuador, através da mudança na direção do fluxo de ar nas linhas (mangueiras ou tubulação) que ligam a válvula ao atuador, alternando entre linha de pressão e linha de exaustão.

As Válvulas direcionais controlam o sentido de movimento do atuador alternando a direção do fluxo de ar, através de três situações distintas, direção válvula-atuador, atuador-válvula e bloqueio.

As válvulas direcionais são representadas na simbologia em mais de um quadradinho, no mínimo dois, pois o atuador tem no mínimo duas posições, recuado e avançado. Cada quadrado representa uma posição de comando da válvula.

## SÍMBOLOS UTILIZADOS

Quanto ao número de posições, este é igual ao número de quadradinhos do símbolo.

**Válvula direcional com duas posições** - Posição 0 (zero) = posição normal ou de repouso, e posição

1 válvula acionada. Geralmente, na posição zero o atuador está recuado e na posição 1 o atuador está avançado (**figura 1a**).

**Válvula direcional com três posições** - Posição 0 (zero) = posição normal ou de repouso, posição 1 válvula acionada para comandar o avanço do atuador e posição 2 válvula acionada para comandar o retorno. Geralmente, na posição zero o atuador está bloqueado, parado, podendo manter posições intermediárias

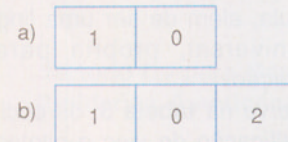


Figura 1 - Exemplos de simbologia.

as dentro dos limites de seu curso (**figura 1b**).






	Uma seta representa passagem livre, e indica o sentido normal do fluxo; caso a ligação seja feita ao contrário (incorreta) o ar passará no sentido inverso ao da seta, pois na válvula o que temos é um furo, e este deixa o ar passar em qualquer sentido.
	Símbolo de bloqueio, fechado, impede a passagem de ar nas conexões a ele ligadas.
	Símbolo de alimentação de ar comprimido, representado na parte externa do quadrado.
	Escape de ar para a atmosfera ou exaustão com conexão.
	Escape de ar para a atmosfera ou exaustão sem conexão.

Tabela 1- Sinais complementares.



O símbolo possui sinais complementares que são desenhados dentro e fora dos quadrados, conforme mostra a **tabela 1**.

Número de vias é o número de pontos em que os símbolos representados internamente tocam o quadrado. Devem-se considerar os pontos em apenas um dos quadrados independentemente do número de posições da válvula. A simbologia deve representar fielmente o que acontece dentro do elemento pneumático. Veja um exemplo na **tabela 2**.

A classificação quanto ao número de vias é feito da seguinte forma: (VD = Válvula Direcional) (N.º de vias) / (N.º de posições) (N = normal) (C = centro) (A=aberta/o) (F= fechado/a)

Veja alguns exemplos na **figura 2**.

Como vimos, as conexões das válvulas estão identificadas por números, conforme Norma ISO1219, uma das vantagens desta identificação é que o número de um algarismo de maior valor é o número de vias da válvula, além de ser uma linguagem universal, própria para a globalização.

Observe na **tabela 3**, os códigos de identificação de vias e pilotos.

Um dos tipos construtivos de válvulas direcionais é a de carretel deslizante representado na **figura 3**. A **figura 4** mostra que para comutar a posição da válvula é necessário mudar o carretel de posição dentro do corpo da válvula.

Para executar esta operação, utilizamos um tipo de acionamento que varia de acordo com a aplicação:

- manual - quando o operador dá o comando;

- mecânico - quando o acionamento é feito por parte da máquina ou produto em movimento;

- pneumático - por ar comprimido;

- elétrico - pelo solenóide que é um acionamento eletromagnético;

Os dois últimos tipos de acionamento são utilizados em lógica de comando.

Na **figura 5** temos os principais símbolos de acionamento para válvulas direcionais. Quando a válvula é pilotada, as conexões são identificadas por dois algarismos. O

	Esta válvula possui duas posições, acionada ou não acionada, portanto deve ser representada em dois quadrados.
	Possui uma entrada de água e uma saída de água, portanto duas vias.
	Na posição não acionada ou zero, a água não passa porque a válvula está bloqueando o fluxo. Representamos então o símbolo de fechada.
	Na posição acionada ou 1, deve ser desenhado um símbolo que mostra o que acontece ao se acionar a válvula, a água passa porque a válvula abre, e representamos então o símbolo de passagem livre.

Tabela 2 - Detalhes da simbologia.

	VD 2/2 vias NA		VD 2/2 vias NF
	VD 3/2 vias NA		VD 3/2 vias NF
	VD 4/2 vias		VD 5/2 vias
	VD 4/3 vias CA		VD 5/2 vias CF

Figura 2 - Exemplos de classificação quanto ao número de vias.

Norma	DIN 24300	ISO1219
Entrada de pressão	P	1
Escape para a atmosfera	R e S	3 e 5
Saídas para utilização	A e B	2 e 4
Pilotos (acionamento por pressão)	Z e Y	10, 12 e 14

Tabela 3 - Códigos de identificação de vias e pilotos.



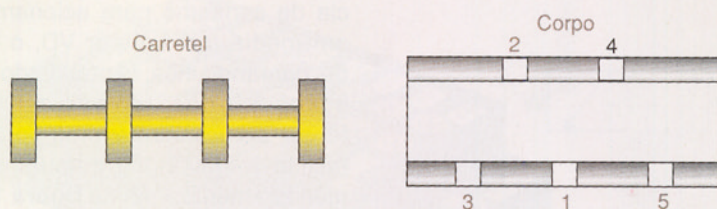


Figura 3 - Carretel deslizante.

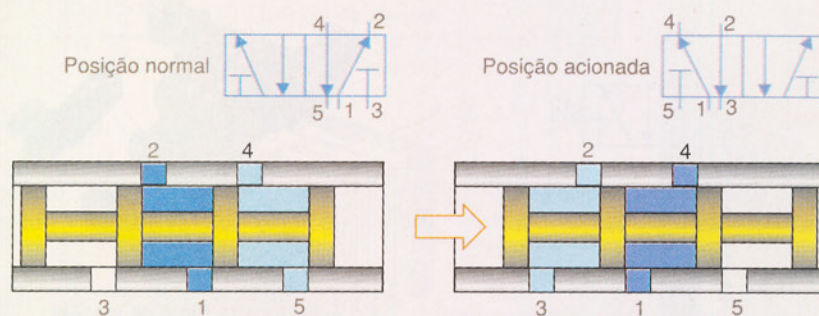


Figura 4 - Comutando a posição da válvula.

Manual	Botão	Alavanca	Pedal	Botão giratório
Mecânico	Pino	Rolete	Gatilho	Mola
Pneumático	Piloto positivo	Piloto negativo	Piloto diferencial	
Elétrico	Solenóide	Solenóide e servopiloto		

Figura 5 - Principais símbolos de acionamento para válvulas direcionais.



Ao pilotar 10 a conexão 1 é ligada a 0, ou seja, a nada, fica fechada

Figura 6 - VD 3/2 NA acionada por piloto positivo com retorno por mola.

primeiro representa a entrada 1 e, o segundo, com quem esta entrada se comunica se acionada. Veja os exemplos nas **figuras 6 a 8**.

Para especificar a vazão de uma válvula foi padronizado o Cv e o Kv, que significam **Coefficiente de vazão**. O Cv é definido como sendo o número de galões de água que passa pela válvula em um minuto à temperatura de 68°F, provocando uma queda de pressão de 1psi (*pound square inch* que significa libras de força por polegada quadrada). O Kv tem a mesma definição, porém, utiliza as unidades do sistema internacional, LPM (litros por minuto) para vazão, bar para pressão e °C para temperatura.

$$1 \text{ Kv} = 0,8547 \text{ Cv}$$

A determinação dos fatores Cv e Kv obedecem condições normalizadas como, por exemplo, o nível constante de água em relação à válvula, distância e posição dos instrumentos e detalhes sobre tomada de pressão.

### Método Cv para Gases (Unidades Americanas)

$$C_v = \frac{Q}{22,48 \sqrt{\frac{\Delta P \cdot (P_1 - \Delta P + P_a)}{T_1 \cdot G}}}$$

Onde:

Cv = Coeficiente de vazão

Q = SCFM a 14,7 psia, 68°F e 36 % de umidade relativa do ar

$\Delta P$  = Queda de pressão admitida em psig

$P_a$  = Pressão atmosférica em psia (14,7 psia)

$P_1$  = Pressão de alimentação (pressão de trabalho) em psig

$T_1$  = Temperatura absoluta em °R (Rankine)

°R = °F + 460

G = Gravidade específica do gás (G ar = 1)

G = Peso molecular do gás / Peso molecular do ar

Os fabricantes oferecem grande variedade de produtos, válvulas com tamanho cada vez menor e Cv cada vez maior (**figuras 9 a 12**). Os terminais de válvulas são compactos, de





Ao pilotar 12 a conexão 1 é ligada à saída 2

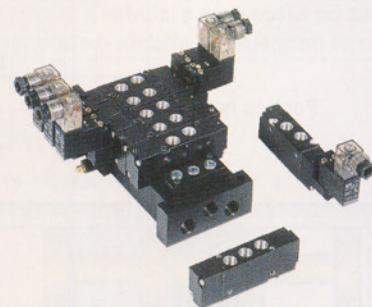
Figura 7 - VD 3/2 NF acionada por piloto positivo com retorno por mola.



Ao pilotar 12 a conexão 1 é ligada à saída 2, e quando pilotar 14 a conexão 1 é ligada à saída 4

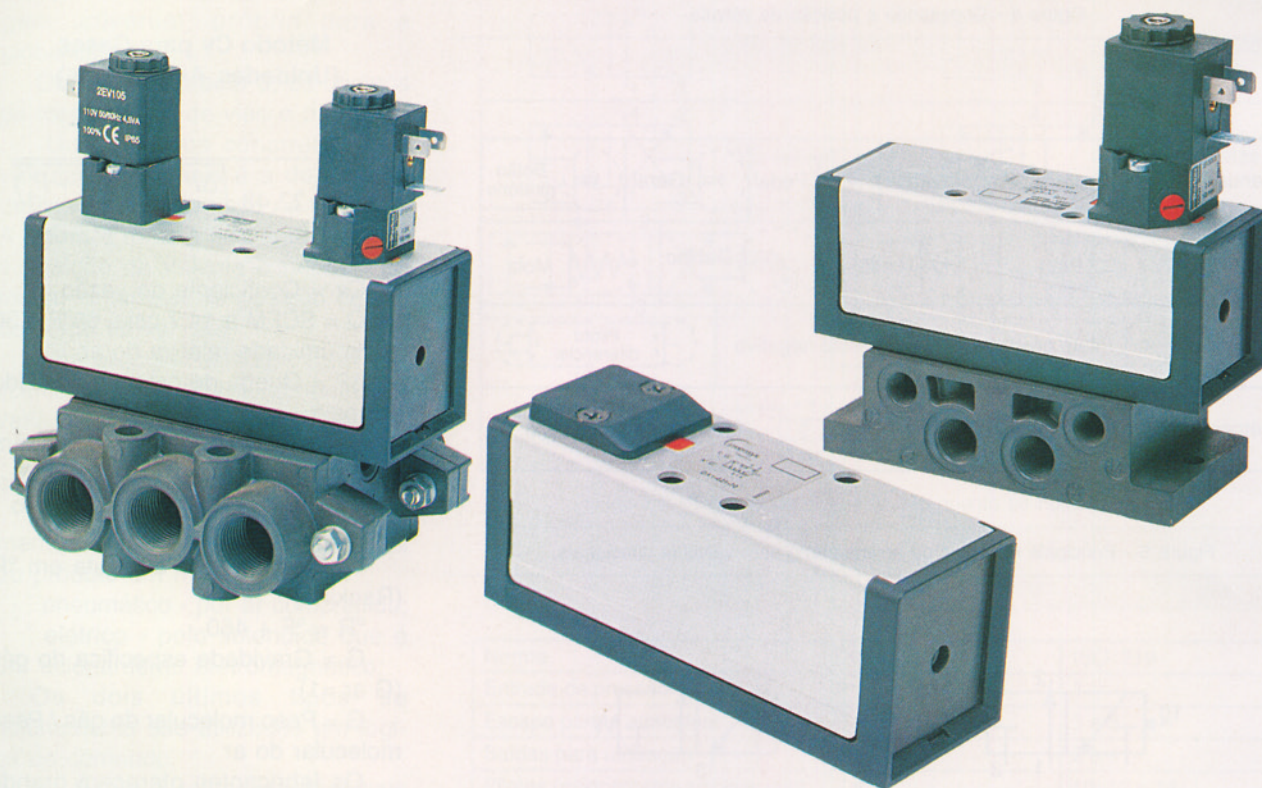
Figura 8 - VD 5/2 acionada por duplo piloto positivo.

alta performance, com baixa potência de consumo para acionamento, em média, de 1W por VD, o bloco de comando fica centralizado e as ligações dos solenóides são feitas pelo sistema multipólo que facilita a instalação manutenção e monitoramento. Veja na **figura 13** um exemplo de aplicação das válvulas direcionais: para controlar o sentido de movimento do atuador, e na **figura 14**, outro.



Parker/Divulgação

Figura 10 - Bloco de válvulas eletropneumático.



Parker/Divulgação

Figura 9 - Válvulas pilotadas e acionadas por solenóide.



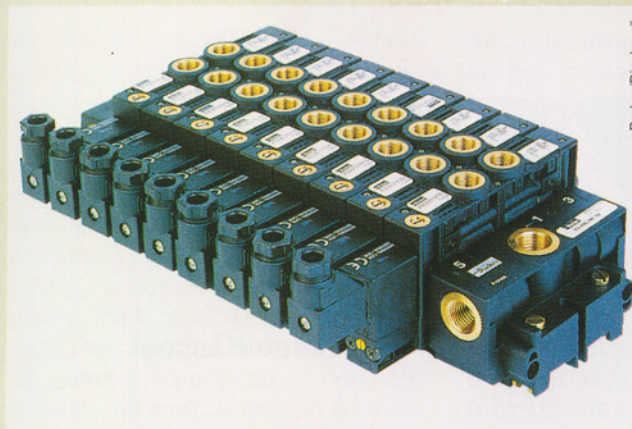


Figura 11 - Terminal de válvulas.

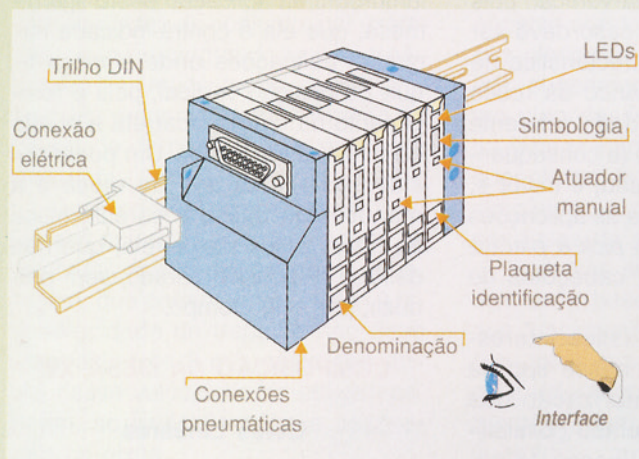


Figura 12 - Elementos do terminal de válvulas.

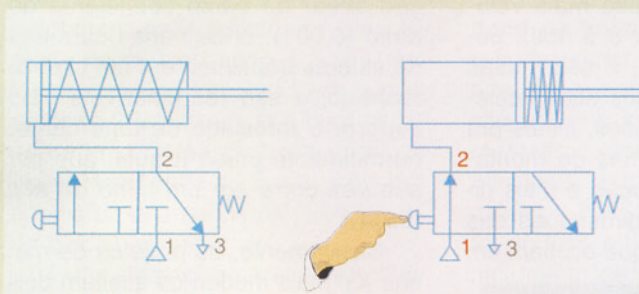


Figura 13 - Comando de um atuador de ação simples.

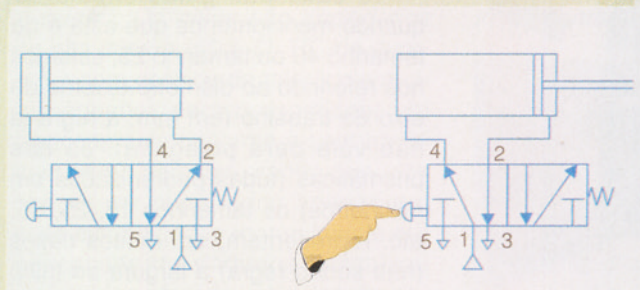


Figura 14 - Comando de um atuador de ação dupla.



Samir Kassouf

As mesas XY podem receber várias denominações técnicas como mesas cartesianas, mesas posicionadoras, coordenados ou pick & place. Esta variedade de nomes explica em parte a variada gama de aplicações que podemos destinar a esse produto nos diversos setores da indústria.

A mesa XY, na verdade, é a associação harmoniosa de vários componentes elétricos e mecânicos de alta responsabilidade e precisão, e de alta confiabilidade (**figura 1**).

Basicamente, temos dois tipos de mesa XY comerciais, visto que o custo dos motores lineares são ainda muito mais altos para essas aplicações padrão. Como características determinantes de cada podemos citar que a mesa acionada por fusos de esferas recirculares (o fuso de esferas recirculares é o mais indicado para esse tipo de aplicação devido ao seu alto rendimento, próximo de 95%, e um baixo desgaste, além das características que discutiremos no decorrer desse artigo) Suas velocidades máximas são limitadas

em 3 m/s, e um cuidado especial deve ser dado às aplicações onde a mesa seja instalada na vertical, pois a vida do fuso nesse caso deve ser bem avaliada. Pela característica de trabalho de um só flanco da rosca do fuso, sua versatilidade referente ao controle das folgas (e conseqüentemente de sua precisão) é maior e, portanto, indicado para as aplicações de alta precisão como *pick & places*, mesas de usinagem, cabeçotes de leitura, etc.

Há uma característica interessante a se observar nesse tipo de mesa, onde a miniaturização das guias, fusos e rolamentos possibilitam a construção de mesas de pequenas dimensões (mesa miniatura).

Já as mesas fabricadas com correias sincronizadas são mais velozes (podendo chegar a 5 m/s), porém menos precisas, e são mesas nas quais conseguimos altas acelerações e desacelerações, ideais pra aplicações em sistemas de montagens. Sua miniaturização é mais difícil e restrita pelas dimensões das polias sincronizadas que ocupam um

espaço considerável no projeto. Chamamos a atenção do leitor que já vislumbrou uma aplicação deste tipo de mesa, que ela é contra-indicada naquelas aplicações onde a mesa fique na posição vertical, pois o rompimento da correia acarreta a queda do material deslocado. Um ponto positivo para este tipo de mesa é a manutenção baixa, e característica da troca rápida da correia, que não deixa o dispositivo parado, sem produzir, por longo tempo.

## COMPOSIÇÃO DA MESA XY

### Guias Lineares

As guias, carros ou buchas lineares são dispositivos de movimentação linear de baixo coeficiente de atrito (0,001), onde várias carreiras de esferas trabalham em um circuito fechado, e são responsáveis pelo suporte e traslado de uma carga, normalmente presa à guia, que por sua vez corre em um trilho de alta dureza.

Basicamente, os projetos de mesas XY mais modernos aceitam dois tipos de guias: a circular e a prismática.

No caso das guias circulares quando mencionamos que esta é do tamanho 40 ou tamanho 25, estamos nos referindo ao diâmetro externo do eixo de trabalho (em mm, a regra já não vale para polegada). Já nas prismáticas (todas padronizadas em milímetros) os tamanhos 15, 25, 35, etc. representam, em muitos casos (não sendo regra) a largura do trilho de trabalho em mm. Veja na **figura 2**, um projeto especial e dedicado,

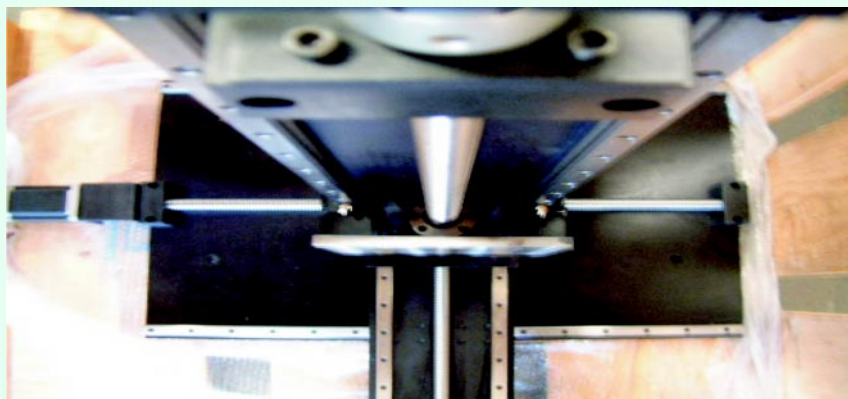


Figura 1 - Mesa XY.



onde utilizamos dois pares dessas guias para movimentar um carro (com acionamento por motor de passo) para perfuração de lonas de freio.

**Guias circulares** - A guia circular é a menos crítica, pode ser fabricada em aço ou em material polimérico com insertos de aço temperado, sendo este último uma tendência mais atual de mercado. São fabricadas desde o tamanho miniatura, como 0,18 pol (ou 5 mm), até 2 pol. (ou 50 mm) ou mais. A guia circular é indicada nos projetos de transporte de uma carga onde não haja muita precisão com folgas laterais ou rigidez do conjunto, por exemplo, onde as cargas de trabalho não devem ser muito grandes. Há também um menor comprometimento da qualidade da base onde a guia será instalada.

Uma característica importante dessas guias é a sua capacidade de absorver desalinhamentos de montagem, que podem chegar a até 0,5°. A velocidade de trabalho não deve ultrapassar os 3 m/s, visto que acima dessa velocidade as esferas patinam, ao invés de rolar, e desgastam os eixos.

As guias circulares devem ser instaladas sempre aos pares. Uma boa regra a ser obedecida é que nas montagens onde a distância entre as guias do mesmo trilho é "L", a distância entre os trilhos deverá ser ao redor de 3 L. Caso haja a necessidade de uma distância menor entre as guias recomenda-se o uso de guias duplas ou chamadas de "twin block" ou blocos gêmeos.

Outra dica, que parece ser óbvia nos projetos mas que na prática não é seguida, é que a quantidade mínima de guias para um projeto correto é quatro. Os eixos são superfícies de alta dureza (60 a 65 RC de dureza) e com desvios de tolerância muito pequenos para proporcionar um deslocamento uniforme e sem travamentos no percurso, sendo que eles podem ser suportados apenas em suas extremidades (normalmente em aplicações de pequena carga) ou suportados em toda sua extensão por uma base de alumínio parafusada ao eixo, nesse caso para as aplicações

de elevada carga, onde trabalha um tipo aberto de bucha (veja a figura 3).

Referente a lubrificação, já existem vários fabricantes que enviam as guias já lubrificadas para toda a vida (exemplo das guias prismáticas da ABBA, ou THOMSON), mas para aquelas que terão que se enquadrar nos planos de lubrificação das fábricas, sugerimos a aplicação do mesmo óleo destinado aos rolamentos da fábrica (tão abundante em qualquer oficina de manutenção), ou para simplificar, o mesmo óleo aplicado nos fusos da esfera.

Podemos simplificar ábacos e tomar como base os fusos de esferas, que funcionarão também na maioria dos casos das guias lineares: quando a velocidade de trabalho é alta e a carga a ser transportada é baixa, sugerimos um lubrificante de baixa viscosidade (32 a 68 cst), já quando as características da aplicação são opostas a essa, ou seja, baixa velocidade de trabalho em altas cargas, recomendamos os lubrificantes de alta viscosidade (90 cst). Os selos são comuns às guias oferecidas no mercado e têm como características principais, o confinamento do lubrificante na jaula de esferas e a limpeza do fuso ou guia, retirando mecanicamente os contaminantes maiores. A graxa só deve ser utilizada em aplicações específicas por poder diminuir a vida das guias com o acúmulo de contaminantes, outra caracte-

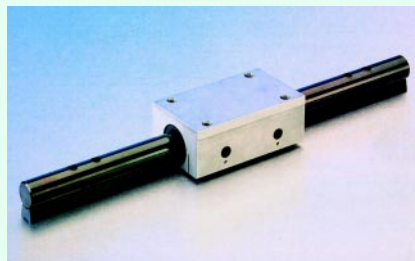


Figura 3 - Guias lineares circulares.

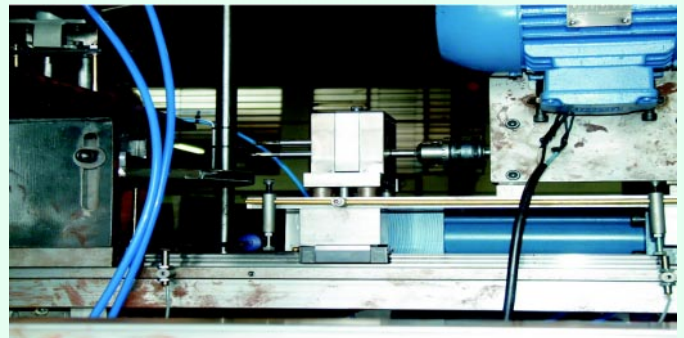


Figura 2 - Projeto onde se utilizaram dois pares de guias circulares.

rística importante deverá ser a baixa velocidade de trabalho da guia. Caso a graxa seja inevitável na aplicação, usar graxas a base de lítio e evitar aquelas à base de bissulfeto de molibdênio por atacar os anéis de vedação.

O curso de deslocamento da guia é muito importante para garantir a recirculação de todas as esferas de um circuito e sua total lubrificação. Uma prova visível de que isto não está ocorrendo, é o desgaste visual do trilho. Como outra regra de simplificação podemos citar a necessidade de um deslocamento mínimo da bucha de duas vezes o comprimento da mesma (desconsiderando os selos).

As buchas sem esferas são modelos que apresentam um termoplástico de baixo coeficiente de atrito em constante contato com os trilhos. Esse tipo de bucha pode ser indicado para a indústria alimentícia onde os equipamentos estão sujeitos a lavagens periódicas, para ambientes com contaminantes severos como limalha de ferro, plásticos ou areia, ou mesmo nas aplicações onde às buchas devam ser mergulhadas em água ou em soluções químicas.

As buchas termoplásticas são largamente utilizadas pela indústria automobilística, e elas estão espalhadas por nossos veículos em mais de 20 pontos articulados.

**Guias lineares "quadradas" ou prismáticas** - Estas são guias de alta rigidez (neste caso também chamadas de "patins"), apresentando as mesmas características das guias circulares de baixa manutenção, baixo atrito, agora aliada as caracterís-

ticas de uma capacidade de carga maior e a alta rigidez.

Tomemos como exemplo o fabricante ABBA que apresenta os modelos BR15, 20, 25, 30, 35, 45 e 55. Estas guias apresentam variados modelos, capacidades de carga, jogos radiais, tolerâncias, etc. No conceito desse fabricante, também não há a necessidade do plano de lubrificação, pois a guia já vem com o lubrificante para a vida.

## FUSOS DE ESFERAS

Os fusos de esferas (**figura 4**) são os responsáveis pelo transporte físico da carga nas mesas XY. Sua concepção, utilizando esferas recirculantes, possibilita um traslado suave, uniforme, de baixo atrito da carga e até livre de folga em certas aplicações. Oferecidos nas mais diversas versões como: castanha simples, castanha dupla com pré-carga ajustável, castanha simples com pré-carga fixa ou castanha simples com pré-carga ajustável.

Hoje em dia, no Brasil, devido a grande variedade de fabricantes e modelos encontrados no mercado, há por vezes a necessidade de recuperação do fuso, pois existem fabricantes que utilizam valores de passos completamente diferentes dos normalmente encontrados no mercado (ou castanhas com dimensões especiais). Como a fábrica não tem acesso ao software de comando para implementar uma compensação desse avanço, o que resta é a recuperação do conjunto.

Esta recuperação pode se enquadrar em quatro modalidades que vão desde a simples limpeza do fuso até a retificação completa de sua pista (com um novo tratamento térmico por têmpera e a troca de esferas), dei-

xando-o em condições similares às de um fuso novo. Porém, a mais comum em nosso país é a recuperação da pista, limpeza e troca das esferas (que devem estar dentro da mesma tolerância de diâmetro). As esferas encontradas comercialmente não se enquadram na tolerância e dureza exigidas nas aplicações com fusos de esferas. A utilização dessas fará com que sempre algumas esferas (as maiores) se sobrecarreguem, e tenham sua vida encurtada, além de que ao se desintegrarem, elas estarão prejudicando as outras esferas, visto que seus fragmentos se prenderão à pista do fuso, gerando mais danos aos equipamentos.

Segundo a Kalatec Automação, que faz este serviço há mais de oito anos, 20% dos fusos que chegam para reparo, não têm condições de recuperação devido a pistas muito danificadas ou tubos de retorno (interno ou externos) gastos e sem similares entre as marcas mais populares.

Basicamente temos dois tipos de fusos no mercado, o chamado "rolado" onde o processo de compressão de um tarugo entre duas ferramentas de conformação concede uma pista de rolagem em hélice, e o "retificado", que sofre ainda um processo de retificação gerando superfícies mais uniformes e com isso uma maior precisão. A diferença de custo entre os dois é sensível, sendo que os fusos rolados são utilizados em movimentos de transporte, como exemplo, em uma mesa de deslocamento de um leitor de umidade (usado em uma máquina de papel, impressoras, etc.), que deve "varrer" constantemente, em movimentos repetitivos, a largura da bobina e coletar dados de umidade, para uma possível correção nos processos anteriores de secagem. Ou ainda, num sistema de corte e solda de chapas, onde a primeira mesa é responsável pela "puxada" do material, ou seja, a mesa quantifica o material a ser trabalhado, uma segunda mesa executa a aproximação do sistema de solda e uma terceira aproxima e desloca um disco de corte à operação final (poderíamos até num estágio próximo ter uma mesa encarregada do empilhamento das chapas).

Observe que em nenhum dos exemplos dados, um erro de posicionamento pequeno poderia prejudicar o processo. Já na indústria de usinagem, ou nos processos de fabricação de fibras ópticas, uma folga na castanha pode comprometer o processo. Nas mesas destinadas a essas aplicações a solução encontrada foi a de se compor duas castanhas e tensioná-las uma contra a outra, fazendo com que a folga seja retirada do sistema (chamamos de pré-carga), e nessas aplicações usamos fusos retificados. Existe também a castanha simples pré-carregada, onde diferentes ângulos de hélice na castanha do fuso geram um tensionamento interno a mesma.

As folgas referentes ao fuso de esferas são estabelecidas como padrão em um comprimento de 1 pé (304,8 mm). Por exemplo, a norma ISO estabelece como grau 5, que o desvio máximo em 304,8 mm do fuso deverá ser 0,001 pol ou 0,0254 mm. A especificação técnica do fuso começa atrelada à velocidade de deslocamento da mesa. As mesas mais velozes deverão ter passos maiores, por exemplo, 16 a 25 mm, já as de velocidades menores podem e devem usar fusos com passos menores como 9 ou 12 mm, visto que com isso não sobrecarregam o acionamento.

Nas empresas especializadas, normalmente a especificação técnica dos fusos fica a cargo de três ábacos que analisam a velocidade crítica, a compressibilidade e a vida do fuso.

## CELA

O que chamamos de "cela" nada mais é do que a plataforma de contato da mesa, onde será fixado nosso equipamento (ou em aplicações mais raras o ponto que ficará fixo, com o deslocamento de toda massa inercial da mesa passando por ele).

Observe que as dimensões da "cela" deverão ser baseadas no equipamento a ser instalado nela, evitando-se ao máximo superdimensioná-la, lembrando que a mesma deverá ser transportada também pelo acionamento (podendo até ser fabricada em alumínio com alívio de



Figura 4 - Fuso de esferas.



materiais para diminuição de peso e inércia e, conseqüentemente, diminuição de seu acionamento).

No caso de um ambiente contaminado onde haja a necessidade de uma proteção sanfonada, a mesma deverá ter uma de suas extremidades fixa na cela. Normalmente a "cela" alojará em sua base a castanha do fuso e no mínimo as quatro guias (ou mais), o que já lhe outorgará um tamanho mínimo.

## MANCAIS DE APOIO

Nas extremidades dos fusos e guias temos os rolamentos e seus mancais, normalmente esses são especificados levando-se em consideração as forças que lhes são impostas pelo fuso, pela carga ou até forças externas, assim como as condições do ambiente de trabalho, que poderão até exigir retentores nas extremidades das mesas.

## ACIONAMENTOS

Uma mesa XY pode ser acionada por motores AC, DC, AC síncrono, motor de passo, servomotor, etc. Levando-se em consideração o grau de precisão e confiabilidade exigido, os dois últimos acionamentos são os mais utilizados.

Os perfis de operação dos servos e dos *steppers* são muito similares, sendo que o servo é mais utilizado nas operações onde há uma dinâmica maior de movimentos e onde velocidades de trabalho superior a 1200 RPM devam ser alcançadas. Observamos que o motor de passo é a alternativa mais barata para acionar estas mesas, por apresentar a característica de trabalhar em "looping aberto", isto é, sem nenhum dispositivo como encoders e resolvers (**figura 5**) que fiquem constantemente checando e corrigindo seu posicionamento; sendo que a ausência dos mesmos propicia *drivers* de controle mais simples (sem PID) e, porque não dizer, menos custosos.

Em um motor de passo pode ser incluído um *encoder*, deixando-o com as características de um servo, mas podemos dizer que em 95% das apli-

cações, isto não é necessário.

Uma das vantagens dos fabricantes atuais, como a AMP (Applied Motion Industries - USA), é a utilização de um "HUB" que consegue controlar, de maneira simples e uniforme, até oito motores de passo ou servos. Outra vantagem é a programação simples que dispensa manual ou conhecimentos prévios de programação, além da capacidade de teste *on-line*.

Os *drivers* já vêm com características de um PLC, isto é, eles apresentam a capacidade de receber programas, apresentam oito entradas e 3 saídas digitais programáveis e configuráveis via software e, como já foi dito, este software pode controlar desde um eixo solitário até a integração de oito eixos (salientando novamente que o software é de fácil compreensão dispensando conhecimentos prévios de programação, o que dá acesso até ao "chão-de-fábrica" de programá-lo). Veja na **figura 6**.

Existem também os *drivers* que recebem apenas um sinal de pulso padrão TTL e um sinal de direção, de um PLC, por exemplo.

Com esses dois sinais, o *driver* é totalmente dirigível e programável, agora via PLC ou outro *indexer* com essas saídas.

## REDUTORES

Os redutores aplicáveis às mesas XY, devem manter as características de alta precisão do sistema, deven-

do portanto ser especialmente projetados e construídos para isso (**figura 7**).

Como todos os redutores, eles são responsáveis pelo aumento de torque do motor ou a redução da inércia da carga a ser transportada. Basicamente existem dois tipos de redutores de precisão no mercado. O primeiro são os redutores planetários que apresentam características de trabalho definidas como rendimentos de 85 a 95%, folgas ao redor de 10' e instalação em linha, ocupando um pequeno espaço na aplicação (*design* extremamente compacto). Esses modelos são limitados por aplicações onde se necessite de alto torque.

Há também um modelo de redutor de coroa-sem-fim com baixíssimo *backlash* (menor que os redutores planetários e trabalhando com torque maiores, e um dos fabricantes, a girard transmissions, da França, trabalha com esses redutores, onde se pode definir três tipos básicos de folgas:

BASIC - folga < 10'

MEDIUM - folga < 5'

EXPERT - folga < 1'

Sendo que, no modelo Expert pode-se ainda ajustar a folga, na tentativa de minimizá-la com o desgaste do uso, ou adequá-la a aplicação. Esses conjuntos já vêm com o acoplamento sem folga adequado, caixas leves fabricadas em liga alumínio-magnésio, não têm chavetas de conexão (o que inviabilizaria uma aplicação com



Figura 5 - Encoders e resolvers.





Figura 6 - IHM, Hub, dois drivers programáveis com fonte e dois sem fonte.



Figura 7 - Exemplo de redutor.

folga zero) e várias opções de montagens.

## ACOPLAMENTO ELÁSTICO SEM FOLGA

Outro componente de fundamental necessidade é o acoplamento elástico e precisão (especiais) que como todo acoplamento deve absorver desalinhamentos laterais e angulares, sem ter a temida folga dos sistemas.

É muito comum aplicações onde tudo é feito com muito critério e preocupação, mas que o detalhe do acoplamento com folga zero é negligenciado, sendo um fator de erro no produto e de performance não tanto visível (figura 8).

Infelizmente, para esse produto ainda não temos nenhum fabricante nacional, dependendo inteiramente do mercado externo. Podemos citar como os modelos de acoplamentos mais comuns: Corrugado (*Bellows type*), Membrana (*Membrane type*), Oldham, Universal, Multibiam e Jaw.

Os mais indicados para as mesas XY são Jaw (ou aranha), Oldham e Bellows, sendo que o segundo modelo é o que, na prática, mais se adequa às mesas por poder ser tri-partido, sendo que um cubo de alumínio fica ligado ao eixo do motor e um segundo cubo preso ao fuso e, na montagem, um disco polimérico de acetato fará o trabalho de conectar e de corrigir os desalinhamentos desses dois eixos principais. Outra vantagem desse modelo é que a peça de desgaste, isto é, o disco de acetato pode ser facilmente reposto e o mesmo pode ser utilizado em rotações tão altas como 4000 rpm e em ambientes com severa contaminação.

## PROTEÇÕES

As mesas podem ainda ser protegidas contra contaminantes externos fazendo uso de proteções externas ou coifas, que têm por objetivo cobrir o fuso e as guias e isolá-los do meio ambiente. Essas proteções são fibras ou tecidos revestidos de uma camada plástica, comumente sanfonadas (para acompanhar os movimentos das mesas), muitas vezes feitas de material especial para se adaptar às condições do cliente.

Por exemplo: Uma mesa aplicada em um autoforno pode receber uma camada de alumínio para evitar as constantes faúlhas do processo. Há também as proteções telescópicas, feitas de alumínio ou aço que podem ser uma boa alternativa para essas aplicações de alta temperatura e alto grau de contaminantes.

## PERIFÉRICOS E EQUIPAMENTOS ESPECIAIS

Os equipamentos periféricos são aqueles usados esporadicamente nos projetos como proteções, *encoders*, redutor, acionamento, chave fim-de-curso, chave de fim-de-curso rotativo (ligada ao eixo do fuso), manoplas para acionamentos manuais,

fontes especiais, limitadores de torque etc.

Já como equipamentos especiais podemos citar, além das guias poliméricas Nyliner e Fluoronyliner, uma guia especial fabricada pela Thomson Industries, indicada para ambientes de elevada contaminação e com elevadíssima capacidade de carga, a guia especial chamada de Roundway, ela tem alta durabilidade e baixa manutenção.

Para aplicações especiais a carga será suportada por roletes de aço de extrema dureza. Uma corrente que desliza na lateral dos roletes é responsável por sua recirculação dos mesmos sobre um eixo de apoio. Para ilustrar nossa aplicação, podemos dizer que uma guia Roundway simples pode carregar até 20 toneladas, já o modelo duplo transporta até 30 toneladas de carga.

## MONTAGEM

A montagem de uma mesa XY é um processo laborioso de paciência, onde o cuidado com a montagem dos diversos componentes se refletirá no desempenho do equipamento. Vamos aqui nos ater à montagem das buchas circulares, que são mais fáceis e de menos comprometimento no projeto. Já para as prismáticas, os procedimentos são mais criteriosos exigindo equipamentos e dispositivos dedicados.

Dois pontos de fundamental importância devem ser considerados:

- Alinhamento dos mancais
- Paralelismo dos eixos.

É necessário assegurar que a altura da base do mancal da guia até o eixo esteja dentro de 0,025 mm, e caso isto não esteja ocorrendo, calços calibrados devem ser colocados na base dos mancais. Aqui vale também ressaltar que as guias abertas (com trilhos totalmente apoiados), são menos suscetíveis ao problema de desnível na montagem. Sua característica construtiva nos habilita a desprezar pequenas diferenças nestas cotas.

Os mancais podem ser montados às "celas", seguindo as seguintes determinações:

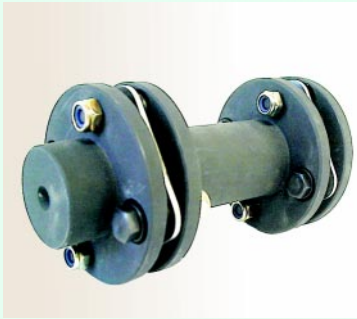


Figura 8 - Exemplo de redutor.

**a** - A placa ou cela deverá ter um lado de referência ou fresado, onde os mancais das guias serão presos.

**b** - Monte firmemente dois mancais referenciando-os por um lado de referência, garantindo com isso seu perpendicularismo.

**c** - Monte o segundo par de mancais no lado oposto, dando uma leve pressão nos parafusos.

**d** - Insira o eixo pelos mancais e cheque as distâncias, com relação

ao lado usado de referência na letra "b", e aperte em definitivo seus parafusos de fixação.

Com isso, garantimos que os mancais estão propriamente alinhados. Agora vamos alinhar os eixos que não podem exceder 0,025 mm de paralelismo em todo o seu comprimento. Isto pode ser conseguido com o seguinte procedimento:

**a** - Monte um dos eixos (totalmente suportados ou só nas extremidades) com baixo aperto nos parafusos de fixação.

**b** - Usando um dispositivo de alinhamento como *laser*, alinhe um dos eixos, referenciando-o em relação à base de fixação do equipamento.

**c** - Depois da fixação deste primeiro eixo, o segundo eixo deverá ser montado com uma leve pressão nos parafusos de aperto.

**d** - Agora, com toda a "cela" colocada sobre eixos, e em movimentos repetitivos de ida e volta, o se-

gundo eixo deve se alinhar, e ser parafusado em definitivo.

**e** - Como última etapa, um relógio comparador pode se apoiar na "cela" e checar seu desvio em todo o curso da mesa.

## CONCLUSÃO

As mesas XY são, hoje em dia, os meios de transporte e posicionamento de precisão mais econômicos do mercado. Na atualidade existe uma constante perseguição da Pneumática e Hidráulica para posicionamentos precisos e repetitivos, mas esses objetivos ou ainda não foram alcançados (deixando as portas abertas para a proliferação dos mais variados projetos de mesas nas fábricas de todo mundo) ou necessitam de vários periféricos para conseguir a precisão necessária, encarecendo e inviabilizando muito o projeto.

# Sensores de posição com a tecnologia magneto-restrição

Gilberto Abrão Jana Filho

**O**s sensores de posição linear vêm sendo cada vez mais utilizados em automação de máquinas. Sua aplicação mais comum é em servocontroles, mas há várias outras possibilidades como, por exemplo, no controle de nível de líquidos.

Existem várias tecnologias para o controle de posição linear. As mais comuns são a régua potenciométrica e a régua óptica. A primeira possui um potenciômetro resistivo em seu interior e a resposta dada na saída é uma resistência proporcional à posição do cursor; já a régua óptica funciona com o mesmo princípio do **encoder**, gerando pulsos proporcionais à posição do cursor.

A mais moderna tecnologia de sensor linear é a da magneto-restrição (*magnetostriction*, em inglês). Ela permite a construção de um sensor totalmente sem contato entre o cursor e o elemento sensor, além de proporcionar altíssima resolução, informação da posição de forma absoluta (não sendo necessária a colocação de sensores de referência) e múltiplas opções de sinal de saída.

## O QUE É A MAGNETO-RESTRICÇÃO

A magneto-restrição é a propriedade apresentada por alguns materiais ferromagnéticos, onde o material se expande ou se contrai quando colocado em um campo magnético (veja **figura 1**). O elemento sensor de um sensor magneto-restritivo de posição é o “guia de onda”, um longo e fino fio ou tubo de material ferromagnético. Outra característica destes materiais é o efeito

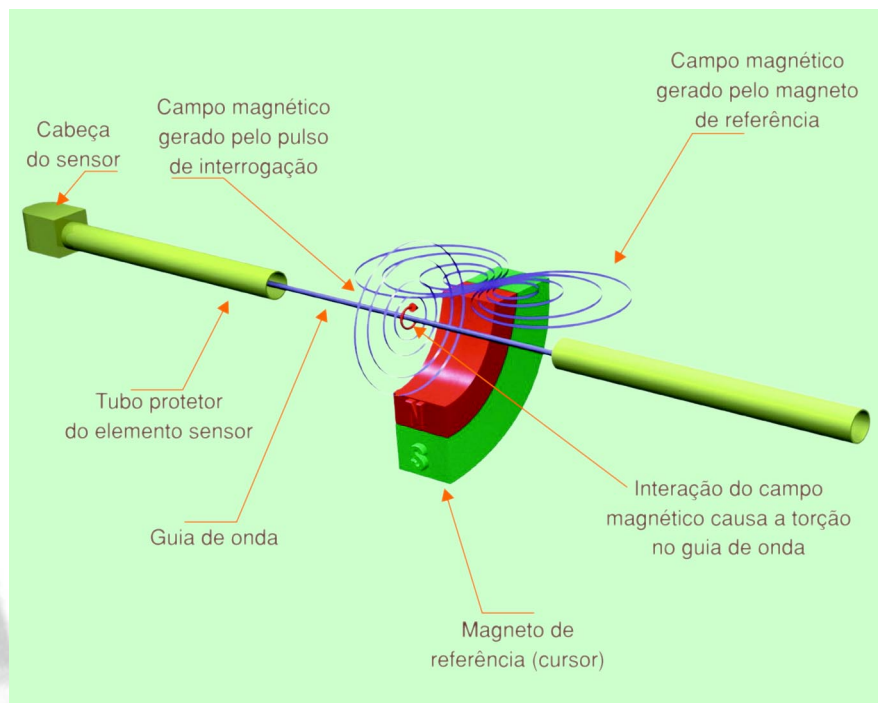


Figura 1 – Princípio de funcionamento do sensor magnetorestritivo.

Wiedemann: quando uma corrente passa pelo guia de onda, na presença de um campo magnético, uma força torcional é exercida sobre ele. A sequência de eventos de uma medição de posição é:

1- Um pulso de corrente, chamado pulso de interrogação, é aplicado ao guia de onda (o circuito é completado por um fio de cobre de retorno), e um temporizador é inicializado. Este pulso gera um campo que percorre o guia de onda.

2- Na posição do cursor há um magneto que gera um campo magnético e este causa a torção no guia de onda. Quando o pulso de interrogação encontra esta torção, um pul-

so sônico é gerado e retorna à cabeça do sensor, é detectado e o temporizador pára.

3- Como a velocidade de propagação do pulso é conhecida e precisa (tipicamente 0,35  $\mu\text{s}/\text{mm}$ ), o tempo medido representa a distância entre a cabeça do sensor e o cursor.

4- O tempo medido serve para gerar a saída desejada que pode ser analógica (4-20 mA, 0-10V,...), Profibus, Devicenet, SSI, etc..

## AS VANTAGENS

Os sensores magneto-restritivos de posição possuem diversas





Figura 2 – Sensores para montagem externa.

vantagens em relação a outras tecnologias. A possibilidade de fazer uma medição sem contato permite que a vida útil deste tipo de sensor seja muito superior à da régua potenciométrica, visto que esta última sofre desgaste pelo contato que desliza sobre seu elemento sensor.

Outra grande vantagem é que, como não há contato, é possível que o elemento sensor e o circuito eletrônico do sensor magneto-restritivo possam ser montados em encapsulamentos totalmente à prova de pó e de líquidos.

A faixa de atuação do sensor pode chegar até 15 metros (dependendo do modelo), enquanto seus concorrentes chegam a poucos metros.

Além disso, esta tecnologia permite que mais de um cursor possa ser instalado em um mesmo sensor, possibilitando uma grande economia em algumas aplicações. Outra possibilidade é que além da saída proporcional à posição, é possível termos uma saída proporcional à velocidade de movimento do cursor.

### MODELOS DISPONÍVEIS

Há três tipos básicos de montagem disponíveis:

- Para montagem externa (veja **figura 2**), que é instalado ao lado do dispositivo a ser medido, e este é mecanicamente ligado ao cursor. Existem cursores que podem deslizar sobre o sensor e outros que podem flutuar sobre ele.

- Para montagem interna em cilindro hidráulico (observe a **figura 3**),



Figura 3 – Sensor para montagem interna em cilindro hidráulico.

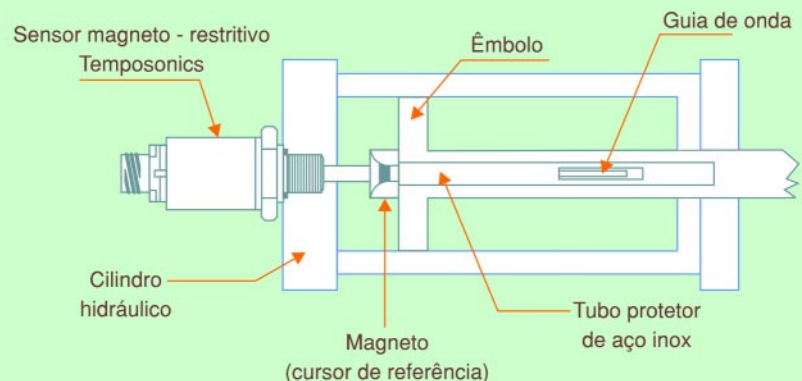


Figura 4 – Vista em corte da montagem em cilindro hidráulico.

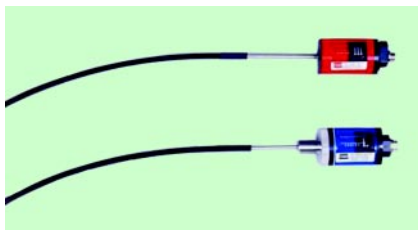


Figura 5 – Sensores com haste flexível.



Figura 6 – Sensores tipo servoválvula.

que possui uma haste de aço inox onde o elemento sensor é instalado. Este tubo pode suportar pressão de mais de 5000 psi e é instalado dentro do cilindro (que deve ter seu êmbolo furado). Um magneto é instalado no êmbolo (**figura 4**), e com isto tem-se a medida da posição do cursor do cilindro. Este tipo de montagem tem uma grande vantagem, pois há grande redução do espaço ocupado para instalação do sensor. Além disso, no caso de uma manutenção, pode-se retirar somente a eletrônica e o elemento sensor, ficando o tubo de aço inox dentro do cilindro.

- Sensor com haste flexível (na **figura 5**), que permite a instalação em locais onde era impossível a instalação de sensores de posição.

Com relação ao tipo de sinal de saída pode-se escolher entre:

- analógica - 0-20 mA, 4-20 mA ou 0-10 V;
- SSI – interface serial síncrona 24 ou 25 bits, binário ou *gray code*;
- Profibus-DP;
- Interbus-S;
- CANopen;
- Devicenet;

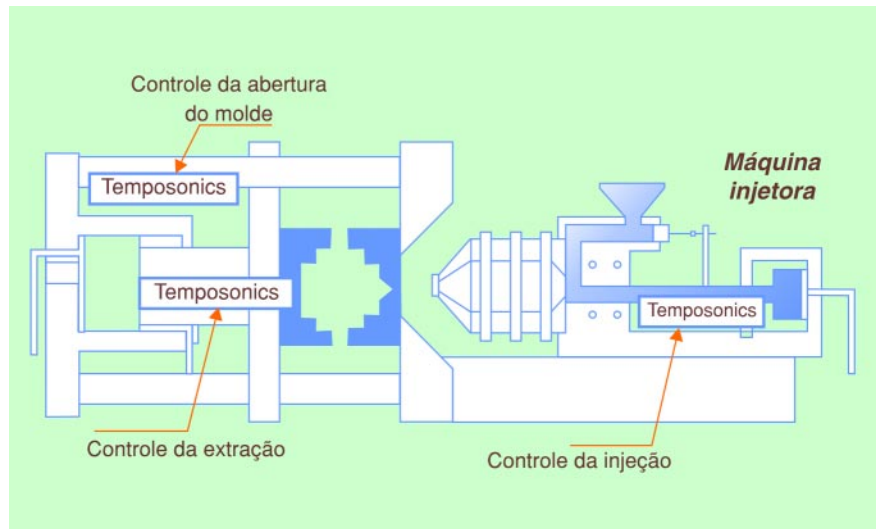


Figura 7 – Sensores empregados em uma máquina injetora.

- Servoválvula -  $\pm 0-50$  mA ou  $\pm 10$  V; este tipo de sensor (**figura 6**) possui um servocontrolador embutido e permite o controle da servoválvula diretamente, sem o uso de um servocontrolador externo.

A resolução alcançada por estes sensores pode chegar a 0,002 mm para a saída digital ou infinita para saída analógica.

## APLICAÇÕES

Devido a sua alta vida útil e sua robustez, o sensor magneto-restritivo de posição linear pode ser usado em diversas aplicações industriais ou até mesmo comerciais.

- **Máquinas injetoras:** os sensores podem ser utilizados em três locais: o controle da injeção, o controle da extração e o controle da abertura do molde (observe a **figura 7**). Com o uso deste sensor pode-se reduzir sensivelmente o índice de trocas das régua potenciométricas comuns.

- **Cilindros hidráulicos:** como foi dito anteriormente, a instalação dentro do cilindro hidráulico facilita a instalação e permite inúmeras aplicações.

- **Prensas e dobradeiras:** pode-se reduzir o tempo de preparação de máquina tendo uma informação absoluta da posição.

- **Máquinas de molde por sopro:** o sensor pode dar o retorno de infor-

mação para controlar a taxa ou a quantidade de plástico alimentado ou expandido dentro do molde.

- **Cilindros pneumáticos:** o sensor pode ser instalado ao lado do cilindro para informar sua posição atual.

- **Máquinas injetoras de metal:** o sensor informa a posição do cilindro hidráulico que força o metal para dentro do molde.

- **Indústria do entretenimento:** o sensor pode informar a posição de cadeiras ou plataformas móveis utilizadas em diversos brinquedos de realidade virtual.

- **Nível de líquidos:** com o uso de um sensor com haste de aço inox com uma bóia munida do magneto, é possível medir o nível de diversos tipos de líquido, inclusive combustíveis, uma vez que se pode usar um sensor magneto-restritivo com segurança intrínseca.

- **Máquinas agrícolas:** o sensor tem diversas aplicações; uma delas é controlar a profundidade que o arado deve penetrar na terra.

Além destas, existem ainda aplicações na siderurgia, máquinas de processamento de alimentos, simuladores de voo, etc.

## Sites sugeridos

- [www.temposonics.com](http://www.temposonics.com)
- [www.metaltex.com.br](http://www.metaltex.com.br)



# Protetores de linha

Newton C. Braga

Além de energia e dados, uma linha de transmissão pode trazer muito mais do que a energia e a informação de que precisamos. Assim, de forma indesejável, podem chegar surtos, transientes e outras perturbações capazes de afetar não somente a qualidade da energia e a integridade dos dados como também causar sérios danos aos equipamentos conectados.

**T**anto a energia que chega através de uma linha de transmissão como os dados que vêm pelos cabos não são puros, nem completamente livres de perturbações ou deformações.

Em artigos na Revista Saber Eletrônica, abordamos por diversas vezes os problemas que decorrem da qualidade da energia e também os meios para evitar que eles apareçam, ou se apresentem, a forma de saná-los.

Os equipamentos industriais que utilizam dados enviados por cabos e sendo ainda alimentados por energia vinda da rede local, são sensíveis a uma série de perturbações que precisam ser evitadas.

Operação de forma indevida, queima freqüente de circuitos ou até mesmo acidentes podem ser causados por problemas que não são gerados no próprio equipamento, mas que vêm de fora na forma de picos de tensão, surtos e transientes.

## DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Uma das principais fontes de perturbações que afetam a transmissão de energia e de dados através de cabos expostos ao meio ambiente é a resultante de descargas atmosféricas.

Um raio, mesmo que caia a uma distância considerável do local por onde passa uma linha de transmis-

são de energia ou de dados, pode induzir picos de tensão de curta duração, mas de valores muito elevados.

Quando um raio se estabelece, mesmo que seja através de um pára-raios, conforme mostra a **figura 1**, um campo de corrente é criado induzindo tensões cujo valor depende justamente do gradiente desse campo.

Um cabo que atravessasse esse campo de correntes pode ser submetido a um processo de indução extremamente intenso, capaz de fazer aparecer picos perigosos que se propagam até os dispositivos ligados em suas extremidades.

Verifica-se que os efeitos de uma descarga atmosférica podem afetar equipamentos eletrônicos a uma distância de até 3 km.

Evidentemente, uma descarga direta no cabo ou num poste que fixe esse cabo, é ainda mais perigosa.

Centelhas saltam com facilidade entre estruturas metálicas e cabos ou entre cabos, conforme ilustra a **figura 2**, criando também uma situação de indução de pulsos perigosos de alta tensão, os quais se propagam até os equipamentos conectados a esses cabos.

Os picos de tensão que aparecem nas extremidades dos cabos e que portanto são aplicados aos equipamentos, podem chegar a milhares de volts com energia suficiente para



Figura 1 – Campo de corrente criado pelo raio.



Figura 2 – Centelha entre cabo e poste.

causar a queima completa de todos os seus circuitos.

Também é importante observar que os picos de tensão, gerados por descargas atmosféricas, não ocorrem apenas durante uma tempestade com raios.

A presença de cargas na atmosfera é constante, e as descargas podem acontecer até mesmo em dias sem nuvens.

Fiscamentos devidos a cargas acumuladas no ar, com menor intensidade, podem perfeitamente surgir gerando transientes da mesma forma, capazes de causar da-



Figura 3 – Faiscamentos a cargas acumuladas.

nos aos equipamentos, veja a **figura 3**.

Para proteger os equipamentos contra esses picos de transientes, que podem atingir valores elevados, existem diversas técnicas.

## AS PROTEÇÕES

A idéia básica de um sistema de proteção é desviar para a terra o pico de alta tensão que se propaga através da linha de transmissão de energia ou de dados, antes que ele chegue ao equipamento sensível.

Esse sistema é denominado "shunt", sendo o mais comum.

Dessa forma, para a proteção da linha de alimentação, ligamos o dispositivo em paralelo com ela, na entrada do equipamento, observe a **figura 4**.

Para uma linha de transmissão de dados como, por exemplo uma linha telefônica, ligamos o dispositivo em paralelo antes da entrada no equipamento. Atente para a **figura 5**.

A ligação à terra é muito importante, se bem que em alguns casos seja aproveitado, o retorno da própria linha ligado à terra.

O dispositivo utilizado é normalmente algum tipo de componente que apresente uma resistência elétrica muito baixa para o transiente, mas que seja visto como um circuito aberto para o sinal ou energia que deve chegar ao equipamento.

Diversos são os dispositivos empregados para essa finalidade.

## Varistores

Os varistores de óxido de zinco (SIOVs, MOVs, etc.) são componentes que têm uma curva característica semelhante à mostrada na **figura 6**.

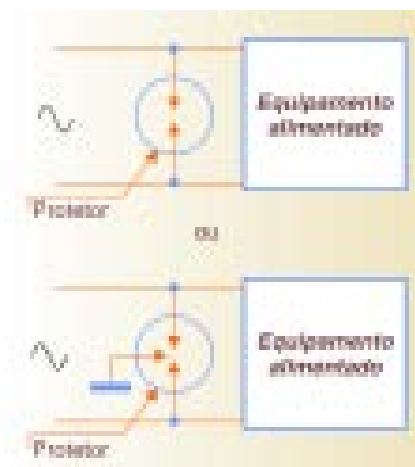


Figura 4 – Protetor tipo "shunt".

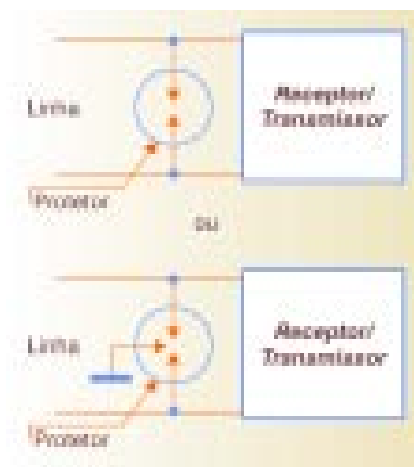


Figura 5 – Protetor para linha telefônica.

Para as tensões normais do circuito, que correspondem aos sinais ou à energia que está sendo transmitida, eles apresentam uma resistência muito alta, não afetando o circuito.

No entanto, para tensões acima de um determinado valor (que é a tensão nominal do dispositivo), eles comutam, apresentando uma resistência muito baixa.

Conforme ilustra a **figura 7**, onde temos a estrutura granulada de um dispositivo desse tipo, uma centelha ocorre através do dispositivo desviando a energia do pulso de transiente. Nesse desvio da energia temos dois fatores importantes a considerar.

O primeiro, é que o dispositivo deve ser capaz de absorver a energia da centelha, o que, nos casos mais graves como, por exemplo, na queda de um raio próximo ao próprio cabo, pode superar sua capacidade causando sua destruição.

O segundo, é que os efeitos do centelhamento através do dispositivo são cumulativos, ou seja, a cada pulso absorvido a centelha "gasta" um pouco o dispositivo, queimando granulos de sua estrutura e, com o tempo, ele pode deixar de funcionar.

Os varistores são muito usados nas tomadas protegidas de computadores, mas que servem para qualquer tipo de equipamento de uso doméstico ou mesmo industrial que tenha sensibilidade a surtos que se propaguem pela rede de energia.



Figura 6 – Curva característica de um varistor de óxido de zinco.

Na **figura 8** temos um exemplo dessas tomadas.

Evidentemente, para máquinas industriais e outros equipamentos sensíveis, o varistor pode ser agregado internamente à entrada de energia do circuito.

## Centelhadores

Os centelhadores são dispositivos de proteção que se baseiam na rigidez dielétrica do ar ambiente. O ar é um isolante até determinado ponto. Se a tensão superar um determinado valor, o ar perde suas propriedades isolantes, ioniza-se e passa a conduzir intensamente a corrente elétrica. É o que sucede com a própria descarga atmosférica, quando a umidade da chuva, no momento em que ela se forma, reduz a rigidez dielétrica do ar a ponto de permitir o aparecimento das descargas entre as nuvens e entre as nuvens e o solo na forma de raio.



Para o ar seco, a rigidez dielétrica do ar é de aproximadamente 10 000 V/cm, para eletrodos planos.

Isso significa que duas placas de metal separadas por uma distância de 1 cm, conforme visto na **figura 9**, podem isolar uma tensão de até 10.000 V.

Uma tensão maior "rompe" o dielétrico que é o ar, e a centelha aparece.

Para eletrodos em forma de ponta, a distância diminui, e é aí que entra em cena o centelhador usado na proteção de linhas telefônicas e de dados de muitos equipamentos, inclusive telefones comuns.

Esse componente é formado por duas pontas ou agulhas separadas por uma distância que depende de qual seja a tensão que desejamos para que ele entre em ação. Acompanhe a **figura 10**.

Se um pico de tensão, causado por uma descarga atmosférica, por exemplo, chegar ao centelhador, ocorre a ionização do ar entre suas pontas e uma faísca surge absorvendo a energia e evitando que ela chegue ao aparelho.

## Centelhadores a gás

Dentro de uma ampola cheia de gás são colocados eletrodos.

O tipo de gás é que determina basicamente a tensão de ionização, e portanto, o ponto de condução.

Quando a tensão de condução é atingida, o gás ioniza-se e passa a apresentar uma resistência muito baixa.

Nessas condições, o pulso de alta tensão presente na linha protegida é desviado para a terra.



Figura 7 – Centelha através da estrutura granulada do varistor.

O tipo de gás também determina quanta energia o protetor pode absorver sem que ele mesmo seja destruído.

## Circuitos comerciais

Na **figura 11** temos um exemplo de protetor que emprega diversos dispositivos diferentes de modo a se obter energia limpa para alimentação de um equipamento a partir da rede de 220 V.

Conforme o leitor pode ver, na entrada temos um protetor a gás duplo para uma tensão de 260 V. Esse dispositivo conduz para a terra qualquer pulso de tensão ou transiente cujo valor de pico ultrapasse os 260 V.

A seguir, temos 3 varistores de óxido de zinco de 180 V que atuam se o pico de tensão estiver num valor intermediário entre o pico da rede de energia (155 V, aproximadamente) e os 260 V.

Finalmente, temos 3 diodos zeners de 180 V que proporcionam a proteção final para o equipamento alimentado.

Os resistores de baixo valor em série com o circuito não causam perdas apreciáveis na tensão e ao mesmo tempo servem como fusistores, ou seja, abrem o circuito se ocorrer um curto, quer seja devido a problemas na proteção, quer seja devido a problemas no próprio equipamento protegido que tenham outras causas.■



Figura 11 – Circuito protetor para linha de 220 V que utiliza diversos dispositivos.



Figura 8 – Tomada protegida.



Figura 9 – Isolação de até 10 kV.

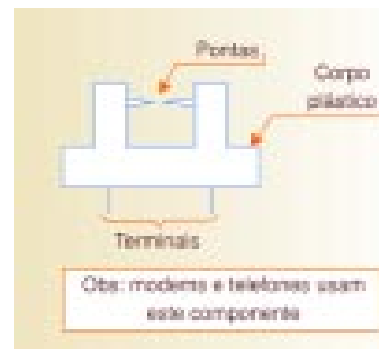


Figura 10 – Centelhador para proteção de linha telefônica.

# Inversores vetoriais: Explorando os fundamentos

Alaor Mousa Saccomano



Rockwell/divulgação

Neste artigo, abordaremos o detalhamento do funcionamento de um inversor acionado por controle vetorial. Em uma perspectiva conceitual, para um assunto muito discutido e extremamente complexo, verificaremos o que acontece com o motor elétrico no ambiente do controlador e entender o significado dos eixos Q e D aplicados no processo de controle vetorial.

**O**s inversores de frequência para acionamento de motores de indução trifásicos são, sem sombra de dúvida, alguns dos equipamentos mais utilizados hoje na indústria, devido às grandes facilidades encontradas nestes poderosos equipamentos, quanto ao controle de velocidade e torque, sentido de rotação, proteções internas contra faltas e erros de processamento, falhas de sobrecarga e sobretemperatura, possibilidade de conexões via redes industriais com outros dispositivos, sistemas de controles internos para aplicação em sistemas de controle de vazão e fluxo... e poderíamos destacar outros inúmeros benefícios agregados a este produto. Não há produtos mais confiáveis e de melhor resposta dinâmica (resposta rápida e de robusta estabilidade) do que os inversores de frequência.

Se, contudo, nos concentrarmos apenas no “inversor puro”, temos basicamente três pontos importantes: a estrutura de potência, o controlador e a interface com o usuário. Diversos ótimos artigos já foram publicados a respeito de inversores, inclusive na revista Saber Eletrônica. Nossa intenção é agregar alguma informação à já existente, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico de todos. Na realidade, o nosso objetivo é tentar responder

a questão: como funciona o controle de um Inversor Vetorial?

Vários ótimos livros têm sido escritos, sempre na maior parte, senão em todos os casos, apresentando a abordagem matemática do assunto, que é, por si só, extremamente complexa. Tentaremos, com o mínimo de abordagem matemática possível, esclarecer os pontos de um modo mais conceitual.

## VETORES E VETORES...

Para entendermos o comportamento do controle vetorial, inicialmente vamos tentar explorar o que vem a ser um vetor. Os elementos que definem uma situação física, caracterizando-a de modo completo é denominado de grandeza, ou melhor, grandeza física. Esta, basicamente pode ser definida quanto ao aspecto **intensidade**, isto é, definida apenas em base numérica. Por exemplo, o tempo, área, volume, temperatura... entre outros são exemplos de grandezas que podem ser totalmente caracterizadas apenas com um valor numérico. Já, outras grandezas ne-

cessitam, além do valor de sua intensidade, definições mais específicas quanto a **direção** (“de onde vem e para onde vai”) e logicamente o **sentido** (“está vindo ou indo?”). Estas são ditas vetoriais. Lembrando da Matemática, um vetor é um segmento orientado que define intensidade, direção e sentido. Entre as inúmeras aplicações para vetores, temos as que definem força, velocidade e aceleração. Veja na **figura 1**.

Além disso, há todo um universo matemático para atuação de vetores: adição de vetores, produto vetorial, espaço e sub-espaço... que nós omitiremos aqui, apesar de que com esse conhecimento tudo ficaria mais fácil. Bom, é só voltar aos livros de Geometria Analítica...

## MAIS CONCEITOS

Ainda visando facilitar ao leitor, algumas definições devem ser enunciadas. Não podemos perder a oportunidade de homenagear aqueles que muito contribuíram para o nível do desenvolvimento tecnológico que chegamos, desde Faraday, Maxwell, Lenz, Henry, Ampère, Tesla, Gauss, Volta, entre tantos outros. Alguns serão diretamente citados, pois muitas das leis enunciadas/descobertas por têm, com todo o direito, seus nomes.

**Lei de Lenz:** O físico russo Heinrich Lenz estabeleceu a relação

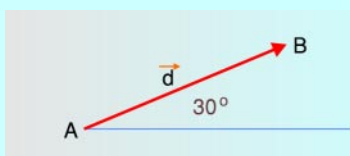


Figura 1 - Vetor.



entre o sentido da corrente elétrica induzida em um circuito e o campo magnético variável que a induziu. Ele observou que, ao induzirmos uma corrente em um condutor ou grupo destes, ela criará um campo que se oporá à variação do campo que a produziu. Assim, em uma bobina, quando sujeita à ação de uma corrente induzida, sempre aparecerá um campo que se oporá a qualquer variação de campo magnético sobre si. Guardando as devidas proporções, podemos dizer que há uma certa inércia na bobina quando da formação de campo magnético.

**Tensão induzida ou indução eletromagnética:** Quando um ímã se move sobre um condutor ou próximo (melhor, no interior) de uma bobina haverá a indução de um campo magnético (tensão induzida) sobre a mesma. Cessado o movimento, também cessa o efeito.

**Campo magnético:** Quando um condutor é percorrido por uma corrente elétrica, surge em torno deste um campo magnético proporcional à corrente. O sentido das linhas do campo magnético estabelecido pode ser obtido pela famosa “*regra da mão direita*”: segure o condutor com a sua mão direita de maneira que o dedo polegar aponte o sentido da corrente (figura 2). Os seus dedos apontarão no sentido das linhas de campo. Já quanto a uma espira (bobina), o campo magnético gerado dependerá do raio da espira e da intensidade da corrente elétrica. Quanto maior a corrente, maior o valor do campo. Quanto maior o raio da espira, menor o valor do campo.

**Intensidade de campo magnético (H):** É a força magnética dada por unidade de pólo magnético, conhecida também como força magnetizante.

**Fluxo magnético ( $\Phi$ ):** É o número total de linhas de força, que formam um campo magnético.

**Densidade do fluxo magnético (B):** É o número de linhas de força que atravessam perpendicularmente certa área.

**Força magnetomotriz (f.m.m ou ):** É a força pontual ao longo do caminho do fluxo.

**Tensão induzida por movimento relativo:** Quando determinado condutor atravessa ou se movimenta (certamente com velocidade) sobre um campo magnético, surge no mesmo certa f.e.m. (força eletromotriz) induzida devido ao movimento, que pode ser dada por:

$$e = - B \cdot q \cdot v$$

onde:

B: densidade do fluxo

q: cargas elétricas do condutor

v: velocidade do movimento.

## O CONTROLE VETORIAL

Para entendermos o controle vetorial de campo, devemos lembrar que a idéia é controlar a velocidade e o torque de modo independente, como em uma MCC (máquina de corrente contínua), só que aplicando o conceito em uma MI (máquina de indução, preferencialmente do tipo motor assíncrono trifásico). Na MCC, temos sempre um eixo do campo,



Figura 2 - Regra da mão direita.

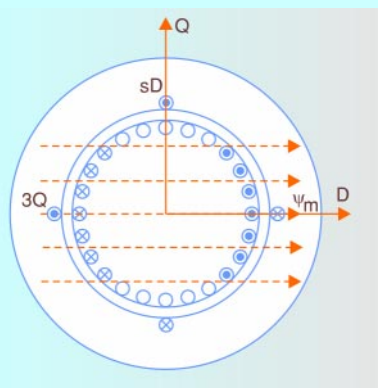


Figura 3 - Diagrama conceitual de uma MI com o enrolamento estatórico em quadratura..

que é responsável pelo fluxo, e noventa graus defasado deste, isto é, em quadratura, o eixo de quadratura que responde pelo torque.

Assumiremos, a partir daqui, a figura 3 como nosso ponto de apoio. Temos nesta uma MI, especificamente, um motor “gaiola de esquilo” isto é, no estator estão os enrolamentos trifásicos defasados 120° entre si e no rotor apenas barras curto-circuitadas. Lembrando que utilizaremos como aproximação à convenção do desacoplamento da MCC (máquina de corrente contínua), ou melhor dizendo, a idéia é demonstrar de um modo simples como podemos “modelar” um motor polifásico (no caso trifásico) em um sistema de dois eixos, sendo um deles o de campo de excitação e o outro de quadratura ou enrolamento de compensação. Consideraremos, com muita aproximação, que o número de espiras do enrolamento do estator é o mesmo do rotor. Isto se faz necessário para simplificar os cálculos.

Se a corrente  $i_{qs}$  for repentinamente injetada no enrolamento **sQ**, teremos, pela lei de Lenz, que a corrente que irá fluir no rotor o fará causando um fluxo que se oporá ao incremento da corrente no enrolamento **sQ**. As direções das correntes estão marcadas na figura 3. O sentido de  $i'_r$  é oposto ao de  $i_{qs}$ .

O efeito da injeção de corrente no estator pode ser mais bem explicado através de um diagrama espacial vetorial (figura 4). As adições das correntes  $i_{ds}$  e  $i_{qs}$  geram a corrente estatórica, de modo que logo após a injeção da corrente, teremos:

$$i'_r = - i_{qs}$$

Então, facilmente percebe-se que a corrente que gera os pólos magnéticos no enrolamento estatórico, dita corrente magnetizante, é a corrente do eixo D.

Desse modo, temos que o rotor irá se movimentar. Mas suponhamos que o rotor seja mantido travado e, não havendo movimento no rotor, não há o aparecimento de f.e.m. de movimento, levando a corrente a se desvanecer, por causa da constante de tempo  $L/R$  do circuito do rotor. Isto é notado pelo decréscimo do vetor  $i'_r$ .

Nesta situação, o vetor corrente magnetizante e fluxo não coincidem com o eixo D.

Para que o eixo d permaneça alinhado com o vetor corrente de magnetização, há a necessidade de que o estator se movimente de um certo incremento (**figura 5**), que chamaremos de  $\delta\mu_m$ , em direção a  $i_s$ . Porém como é sabido que o estator é fixo, quem se movimenta, em sentido oposto, é o rotor. Havendo, então, movimento relativo do rotor em relação ao estator, melhor dizendo, ao fluxo magnético do estator, ocorre que as barras do rotor cortam o fluxo, tendo conseqüentemente tensão induzida nas barras. Observe que se tem tensão induzida de movimento relativo.

Na **figura 6**, temos que  $i_r$  continuará ortogonal (isto é, 90° defasados) do fluxo magnetizante.

Mantendo-se o fluxo constante, isto é, a parcela da corrente estatórica que se responsabiliza pela magnetização da MI, isto é, a corrente  $i_d$  deve ser mantida constante, o torque se controlará pela parcela da corrente excedente exigida para gerá-lo. A corrente  $i_q$ , que se pode dizer que é controlada independentemente no sistema, gerará torque elétrico ( $T_E$ ) proporcional ao seu valor:

$$T_E = k \cdot i_q$$

Entre uma das muitas maneiras de se calcular a constante k, poderia ser:

$$k = 4 \frac{Lm^2 \cdot i_d}{L_r}$$

Quando se aplicam esses procedimentos em motores trifásicos, normalmente escolhe-se um valor básico de torque para que o sistema de controle vetorial tenha por base em seu sistema de controle. Na prática, se ajusta o fluxo de modo que em regime permanente tenha-se eficiência máxima. A eficiência de torque será máxima sempre que  $i_d$  for igual a  $i_q$ .

## UM POUCO DE MATEMÁTICA

O conhecimento da posição do ângulo do fluxo magnético entre o rotor e o estator é fundamental para a implementação do controle vetorial.

Denominaremos, como na maioria dos artigos acadêmicos, de  $p$  este ângulo. Ele não pode ser medido diretamente, mas sim estimado. Um modo seria verificar a taxa de variação desse ângulo com o passar do tempo em função da corrente e velocidade de evolução do rotor. Assim, temos:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \omega \cdot \frac{i_{sq}}{(i_{mr} \cdot \tau_r)}$$

sendo:

$\omega$ : a velocidade angular do eixo rotor  
 $i_{sq}$ : corrente estatórica referenciada ao eixo q

$i_{mr}$ : corrente de magnetização

$\tau_r$ : constante rotórica

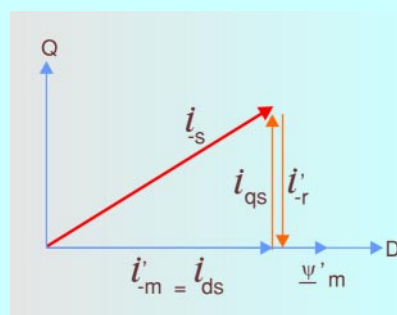


Figura 4 - Vetores espaciais da MI em quadratura, momentos após a injeção de corrente.

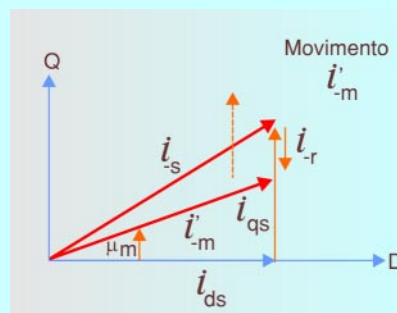


Figura 5 - Vetores da MI simulando o movimento nos eixos Q e D.

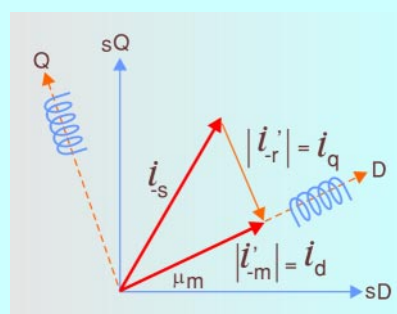


Figura 6 - Posição dos vetores da MI, após rotação do estator.

A corrente de magnetização é calculada a partir de:

$$i_{sd} = i_{mr} + \tau_r \cdot \frac{\partial i_{mr}}{\partial t}$$

Todas as variáveis das duas expressões anteriores podem ser calculadas a partir da velocidade angular do motor e da corrente do estator, tendo já as informações de indutância de magnetização, constante rotórica, resistências de estator e rotor e indutância de rotor e estator, potência e velocidade nominal. Em sistemas com realimentação via *encoder*, terá a medição direta da velocidade angular do rotor. Quanto aos sistemas em que a mesma é estimada, tem-se a formação *sensorless*.

O processador do sistema deverá decompor a corrente resultante do estator, que na realidade é composta pelas correntes das fases R-S-T, defasadas 120° elétricos e equilibradas em um sistema de dois eixos ortogonais como nas MCC, mas alinhadas com o enrolamento do estator. Essa “transformação de coordenadas” é matematicamente processada utilizando-se um sistema matricial de transformação:

$$\begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3}{2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{s1} \\ i_{s2} \\ i_{s3} \end{bmatrix}$$

Com os valores calculados de  $i_{sa}$  e  $i_{sb}$ , e armazenados, o sistema possibilita o cálculo do vetor fluxo. A conversão inversa, ou transformação 2 para 3, calcula as correntes do estator a partir das coordenadas **d** e **q** referenciadas ao próprio estator:

$$\begin{bmatrix} i_{s1} \\ i_{s2} \\ i_{s3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & 0 \\ -\frac{1}{3} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{3} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \end{bmatrix}$$

Na real validação para se obter as correntes  $i_d$  e  $i_q$ , com a posição do ângulo do fluxo magnético. Para tanto, o processador do controle vetorial deverá calcular as coordenadas do fluxo rotórico. A escolha das coordenadas do fluxo rotórico ou transformação  $e^{-jp}$ , é dado por:



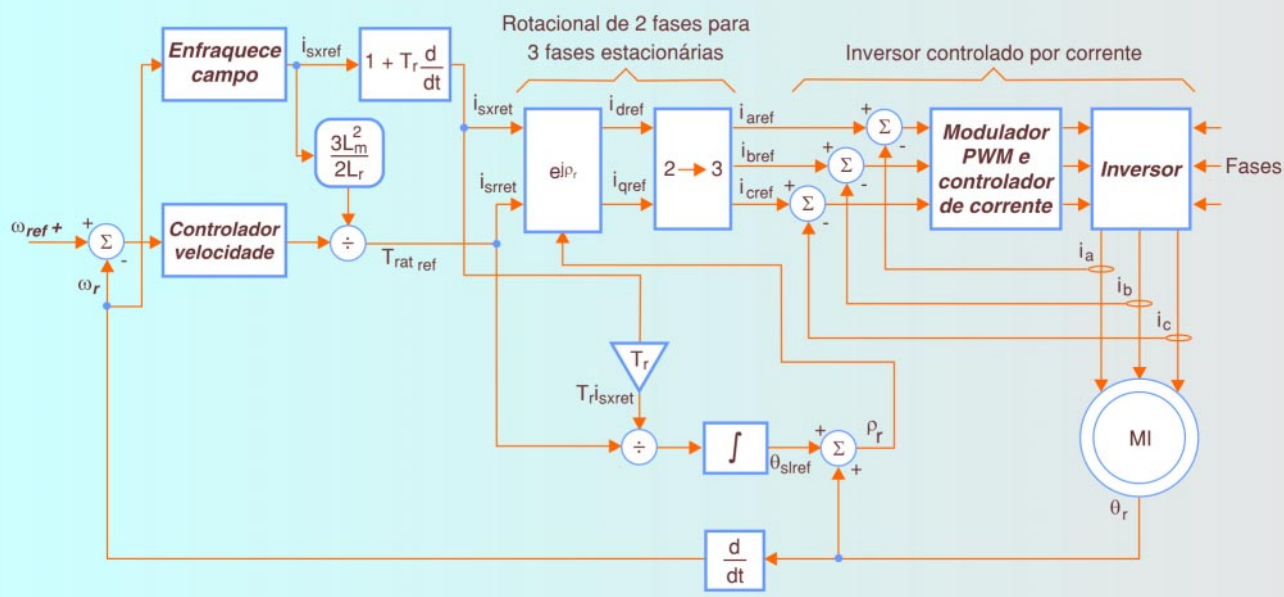


Figura 7 - Diagrama de blocos do controle vetorial indireto do fluxo rotórico.

$$\begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \rho & \sin \rho \\ \sin \rho & -\cos \rho \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \end{bmatrix}$$

E completando, a escolha das coordenadas do fluxo estatórico, ou transformação  $e^{\rho}$ , será:

$$\begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos p & -\sin p \\ \sin p & \cos p \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix}$$

**APLICANDO EM  
UM SISTEMA  
DE CONTROLE  
VETORIAL INDIRETO...**

Apresentamos ao leitor que deseja uma implementação um sistema com Controle Indireto (**figura 7**). Neste caso, o comando do torque será função do sinal de erro de velocidade, que é processado por um controlador do tipo PI, impondo certo atraso compensado pelo processador (normalmente um DSP) e evitando erros de ganho. Os valores de fluxo também podem ser impostos como função da velocidade nominal (fluxograma ao lado).

Observa-se que os cálculos devem ser feitos em alta velocidade, gerando grande trabalho de processamento e necessidade de grandes espaços de memória no processador. Em muitos casos, o

processador já possui tabelas completas de  $\mathbf{p}$ ,  $\cos \mathbf{p}$  e  $\sin \mathbf{p}$ , prontas para uso. A aplicação de processadores digitais de sinais ou microcontroladores dedicado é imprescindível para aplicações práticas e industriais nos inversores.

## CONCLUSÃO

Nossa intenção foi municiar o leitor de informações mais “quentes” sem muito apelo matemático do funcionamento de um sistema de controle vetorial. Em artigos futuros, se possível, abordaremos aspectos mais práticos do uso de inversores escalares e vetoriais.

Uma vasta bibliografia pode ser utilizada por aqueles interessados em se aprofundar mais no assunto, principalmente os leitores que possuem algum domínio matemático e de programação, e conhecimentos em eletrônica de potência. Uma boa dica é olhar os *applications notes* do DSP da Texas Instruments (família TMS320). Em termos de literatura, há uma excelente tradução do livro de Muhammad H. Rashid, cujo título é “Eletrônica de Potência”. O livro do Cyril Lander, segunda edição traduzida em português, “Eletrônica Industrial”, também serve como matéria introdutória. Para os mais

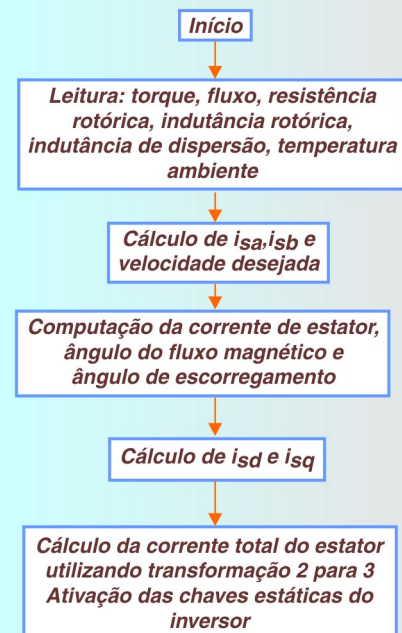


Figura 6 - Algoritmo para implementação de controle vetorial indireto.

afoitos (e que dominam o inglês), sugerimos procurar: *Electric Motor Drivers – Modeling, analysis and control* - do autor R. Krishnan e *Control of Electric Drives*, de W. Leonhard. Por fim, para quem tem acesso ao IEEE, é possível encontrar muitas informações abrangentes e completas.

# Imprecisão nas medidas

Douglas Ribeiro dos Santos

A incerteza na medição para alguns pode parecer um assunto sem grande importância ou que chama pouco a atenção, no entanto, é um tema relevante para o meio industrial.

Muitos são os fatores que afetam a **tomada de medição**, que variam de **grandeza** para **grandeza** e da **precisão da medida**.

A **tomada de medição** é o ato de medir dentro de um ambiente definido, ou seja, depende de condições como temperatura, pressão, umidade, luminosidade, entre outros, e depende também da condição do operador, capacitação profissional, saúde e nível de satisfação profissional.

A tomada de medidas também depende do instrumento e do método de medição. Desse modo, algumas medidas são tomadas diretamente através do instrumento ou por um operador em um determinado ambiente, outras são obtidas através de métodos de tomada de medida como, por exemplo, alguns processos químicos. Em relação ao instrumento, podemos fazer algumas considerações que influenciarão diretamente na qualidade da medida, por exemplo, data de fabricação do instrumento, material empregado na fabricação, data de aferição, guarda e transporte do instrumento, entre outras.

Em alguns instrumentos de medição o operador precisa se posicionar corretamente diante do instrumento para não realizar uma leitura errada (erro de paralaxe); em outros, o instrumento fornece o valor da medição em um cursor, como por exemplo, o paquímetro (figura 1).

Entende-se por **grandeza** como sendo a variável a ser medida, e certamente os erros que podem ser co-

metidos durante a tomada de uma medida estão diretamente ligados ao tipo de grandeza. Assim, a importância de fazer esse destaque é que realizar uma tomada de medida da grandeza comprimento é bem diferente de realizar uma tomada de medida da grandeza corrente elétrica, ou ainda da grandeza acidez ou de medição do pH.

A **precisão da medida** está diretamente ligada ao uso ou finalidade da peça ou processo que estamos controlando, visando a fabricação de um produto ou serviço. Não se deve confundir aqui a função de uma peça do equipamento com o todo; ou em processo onde se controla várias grandezas, com certeza, algumas serão mais importantes que outras.

## CLASSIFICAÇÃO DOS ERROS

### Erros sistemáticos

São aqueles decorrentes de causas constantes e afetam as medidas sempre da mesma maneira. É o caso, por exemplo, de um recipiente graduado com o fundo amassado, que invariavelmente mede um volume menor do que o existente, mas em um valor constante.

### Erros acidentais

São erros resultantes de causas indeterminadas e afetam de modo imprevisível a tomada de medidas como, por exemplo, a variação de temperatura, umidade, pressão. Esse tipo de erro não pode ser eliminado, mas pode ser atenuado.

## MÉDIA ARITMÉTICA

O postulado de Gauss, expressa que para uma série de medidas

$(m_1, m_2, m_3, \dots, m_n)$ , tomadas da mesma maneira e sob as mesmas condições, o valor mais provável ( $\bar{m}$ ) dessa grandeza medida é obtido através da média aritmética dos valores experimentais alcançados, ou seja:  $\bar{m} = (m_1 + m_2 + \dots + m_n) / n$

## DESVIO ABSOLUTO PARA CADA MEDIDA

Denomina-se desvio absoluto ( $d_w$ ) para uma determinada medida de ordem ( $w$ ) como sendo a diferença entre o valor medido ( $m_w$ ) e o valor mais provável ( $\bar{m}$ ) encontrado através da média aritmética.  $d_w = m_w - \bar{m}$

## DESVIO RELATIVO PARA CADA MEDIDA

Denomina-se desvio relativo ( $dr_w$ ) para uma determinada medida de ordem ( $w$ ) como sendo o quociente entre o desvio absoluto ( $d_w$ ) e o valor mais provável ( $\bar{m}$ ) encontrado através da média aritmética.  $dr_w = d_w / \bar{m}$

## DESVIO MÉDIO ABSOLUTO PARA UM CONJUNTO DE N MEDIDAS :

Denomina-se desvio médio absoluto ( $d_m$ ) para um conjunto de  $n$  medidas, como sendo a média aritmética dos módulos dos desvios absolutos de cada uma das  $n$  medidas.  $d_m = |d_1| + |d_2| + \dots + |d_n| / n$

## DESVIO MÉDIO RELATIVO PARA UM CONJUNTO DE N MEDIDAS

Denomina-se desvio médio relativo ( $d_{mr}$ ) para um conjunto de  $n$  me-





Figura 1 – Paquímetro.

didadas como sendo o quociente entre o desvio absoluto ( $d_m$ ) e o valor mais provável ( $\bar{m}$ ) encontrado através da média aritmética.

$$d_{mr} = d_m / \bar{m}$$

## APRESENTANDO O RESULTADO DE UMA SÉRIE DE MEDIDAS

A esta altura, o leitor estará perguntando, qual a importância de todas estas fórmulas, ou como elas poderão ser úteis para melhorar a confiabilidade de uma medida?

Se assumirmos que para a tomada de uma determinada medida  $m$  foram realizadas várias  $n$  medidas  $m_1 + m_2 + \dots + m_n$ , através da média aritmética, obteve-se o valor mais provável ( $\bar{m}$ ), um desvio médio absoluto ( $d_m$ ) e um desvio médio relativo ( $d_{mr}$ ).

O verdadeiro valor da medida  $m$ , não é possível de se obter, porém podemos chegar a um valor com uma confiança considerável, sabendo que o valor da medida está dentro do seguinte intervalo  $m - d_m$  e  $m + d_m$  ou seja :

$\bar{m} - d_m \leq m \leq m + d_m$ , costuma-se expressar a dimensão da seguinte forma:

$\bar{m} = m \pm d_m$ , um exemplo para a expressão da tomada de uma medida de diâmetro:

$$\varnothing = (10,50 \pm 0,04) \text{ mm.}$$

O leitor pode perceber que não usamos o desvio médio relativo ( $d_{mr}$ )

para apresentar a medida na forma escrita, isso porque o desvio médio relativo ( $d_{mr}$ ), é um índice que indica a precisão da medida, quanto menor o desvio médio relativo, maior a precisão do resultado.

Quando os valores medidos estiverem relativamente próximos, teremos uma boa precisão, mas não se deve confundir precisão com exatidão.

Teremos uma boa exatidão da medida quando o valor medido estiver próximo do valor real.

Sua precisão está relacionada aos erros acidentais, quanto maior o número de amostras de uma determinada medida, melhor será a precisão do resultado, pois quando se calcula a média, o valor final calculado estará mais próximo do valor real.

A exatidão de uma medida depende de erros acidentais e sobretudo de erros sistemáticos.

## ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS

Algarismos significativos são todos aqueles onde temos certeza e mais um algarismo onde existe dúvida, por exemplo:

Após uma seqüência de medidas, chegou-se a quatro valores, qual o valor da medição? Sendo os valores os seguintes:

$$8,24 \text{ m? } 8,25 \text{ m? Ou } 8,26 \text{ m?}$$

Das três leituras, podemos notar que os algarismos 8 e 2 não são du-

vidosos, porém o terceiro algarismo o é. Para saber o número de algarismos significativos, contamos a partir da esquerda para a direita todos os algarismos (inclusive o duvidoso). Neste caso temos 3 algarismos significativos.

Outros exemplos:

- a) 17 - dois algarismos significativos (1 é certo e 7 é duvidoso) ;
- b) 21,0 - três algarismos significativos (2 e 1 são certos e 0 é duvidoso) ;
- c) 63.070 - cinco algarismos significativos (6,3,0 e 7 são certos e 0 é duvidoso).

Fizemos uma breve abordagem do tema “imprecisão nas medidas”, também conhecido como teoria dos erros ou ainda incerteza na medição, Apresentamos os conceitos básicos, mencionamos os tipos de erros, sem abordar os considerados grosseiros, os quais são causados por falta de atenção ou imperícia do operador do instrumento, que são os erros de cálculo, leitura, cópia ou mesmo de paralaxe.

A importância desta teoria se revela quando da necessidade de apresentar um relatório, fazer uma experiência, ou mesmo realizar um teste na concorrência de vaga por emprego. Assim, certamente o assunto não pára por aqui, mas já é um bom início para começar a estudar ou mesmo aplicar em algum trabalho que você esteja desenvolvendo.

# Comunicação serial na Indústria usando o protocolo RS-232

Newton C. Braga

Os equipamentos usados na Indústria e em Robótica estão cada vez mais “inteligentes”, utilizando recursos da informática tanto para controle quanto para informar uma central sobre o andamento da produção. Uma das formas mais empregadas para enviar dados de uma máquina a um computador, e vice-versa, é através de uma linha de comunicação serial sendo a mais conhecida a RS-232. Veja, nesse artigo, como funcionam as comunicações RS-232 e o que elas podem fazer por seus equipamentos.

Os modos de comunicação entre os elementos são divididos normalmente em duas categorias: terminação simples e diferencial. O protocolo RS-232 foi estabelecido em 1962 e era chamado EIA232. Ele foi criado para ser usado com as antigas máquinas de teletipo, mas devido a sua simplicidade e versatilidade tornou-se um padrão que até hoje é adotado em aplicações de curta distância, principalmente as que envolvem a comunicação entre as

máquinas (sensores e efetores) e os computadores que as controlam.

O interfaceamento 232 pressupõe um aterramento entre os dois dispositivos envolvidos na comunicação de dados chamados DTE e DCE.

DTE significa *Data Terminal Equipment* e normalmente consiste de um PC. DCE quer dizer *Data Circuit-terminating Equipment* e consiste no elemento que irá receber (ou enviar) os sinais de controle ao PC.

Na **figura 1** mostramos o modo como os dois dispositivos são interli-

gados em um sistema básico de comunicação usando o protocolo RS-232 (definido pela norma EIA232).

## OS TIPOS DE SINAIS

Os sinais enviados estão na forma serial conforme já explicamos, o que significa que os bits são enviados sequencialmente, um a um, através de uma linha única de comunicações.

Eles são representados por níveis de tensão e a comunicação é bilateral, ou seja, “full-duplex”, que inicialmente tinha uma velocidade relativamente baixa de 20 Kb/s com um alcance também pequeno.

No protocolo RS-232, as tensões na faixa de +3 a +15 volts são reconhecidas como níveis baixos, enquanto que as tensões de -3 a -15 volts são reconhecidas como níveis altos. Observe que a lógica negativa aplicada ao caso visa a obtenção de maior segurança na transmissão dos dados. Em determinadas documentações técnicas essa tensão pode ser encontrada com valores até -25 V e +25 V.

Na **figura 2** temos um gráfico em que as faixas de sinais são representadas.

Note que a faixa entre -3 V e +3 V consiste numa região “indeterminada” em que não há reconhecimento de nível lógico, da mesma forma que acontece com os circuitos lógicos digitais comuns em que também temos essa faixa.

É interessante observar que algumas variações ocorrem para essa faixa. Assim, para o padrão V.10, a

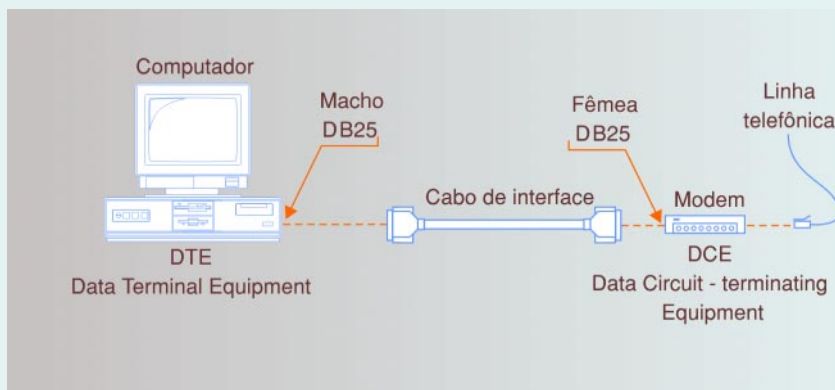


Figura 1 – Interligação de dois dispositivos utilizando o protocolo RS-232.



faixa morta está entre +0,3 V e - 0,3 V, ao passo que existem dispositivos que podem trabalhar com níveis de tensão menores que 1 V.

Devemos ainda lembrar que muitos computadores modernos aceitam a tensão 0 V como nível alto. Com isso, circuitos alimentados por 5 V podem excitar diretamente dispositivos RS-232 sem a necessidade de gerar tensões negativas.

É claro que esse estreitamento da faixa faz com que tenhamos certas limitações na velocidade e distância em que as comunicações podem ser feitas.

O uso de tensões positivas e negativas leva ao sistema a denominação "diferencial". O emprego de sinais diferenciais tem por finalidade minimizar os efeitos de ruídos, ou ainda da própria influência de aterramentos.

A faixa ampla de valores de tensão possibilita, inclusive, que os sinais sejam transmitidos por longos percursos sem que haja uma atenuação considerável que reduza sua amplitude tendo efeitos sobre sua integridade.

É importante notar que a inserção de um instrumento ou circuito de prova que tenha uma impedância relativamente baixa como, por exemplo, um LED em um circuito RS-232 para verificação de funcionamento, faz com que as tensões caiam para valores bem próximos dos mínimos da faixa indicada.

Também há exemplos de periféricos cujos circuitos são alimentados diretamente por estas tensões (não possuem fontes de tensão próprias), caso em que a queda de tensão que acontece na linha pode ser muito importante para seu funcionamento. Nessas situações, é preciso manter os cabos mais curtos do que nas aplicações convencionais.

As portas RS-232 são projetadas para suportar a condição de circuito aberto, caso em que a tensão atinge o valor máximo e a condição de curto-circuito no cabo, sem o perigo de danos aos componentes.

No entanto, é preciso tomar cuidado no que se refere à indutância

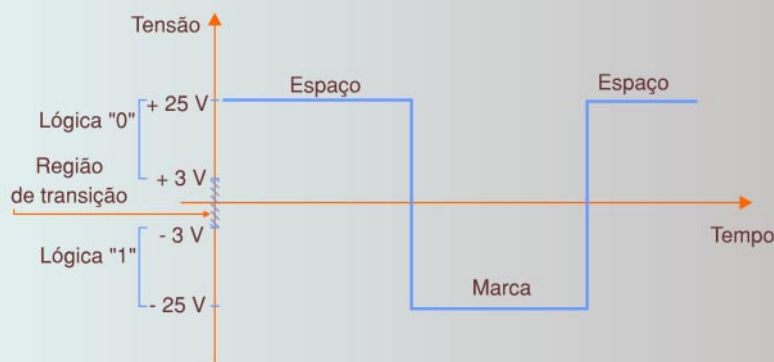


Figura 2 – Faixas de sinais.

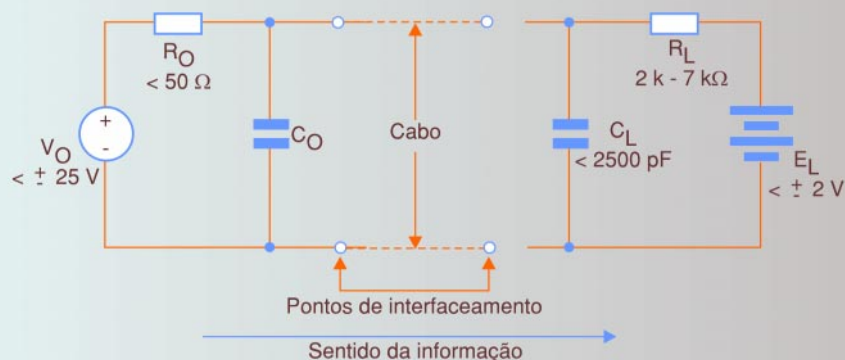


Figura 3 – Circuito equivalente a um sistema de comunicação RS-232.

do cabo. Se for elevada, poderá fazer com que, na comutação, sejam geradas tensões maiores do que 25 V ou que o máximo recomendado pelo fabricante do dispositivo. Essas tensões podem causar danos aos circuitos.

## LIMITES DE CORRENTE E TENSÃO

Uma porta RS-232 pode fornecer uma corrente limitada a um dispositivo remoto. O número de linhas de saída, o tipo de CI de interface e o estado das linhas de saída devem ser considerados quando se projeta um sistema.

Os tipos de CIs *drivers* usados na porta serial podem ser divididos em três categorias:

- *Drivers* que precisam de alimentação simétrica como os da série 1488. A maioria dos PCs emprega esse tipo;

- *Drivers* de baixa potência que exigem fontes simples de +5 V. Esse tipo de *driver* possui um conversor DC/DC interno para conversão de tensão. Muitos tipos de microcontroladores para uso industrial o utilizam;

- *Drivers* de baixa potência para 3,3 V que operam de acordo com o padrão EIA562 encontrados em *notebooks* e *laptops*.

O circuito equivalente a um sistema de comunicação RS-232 é ilustrado na **figura 3**.

São definidos 25 sinais, mas na prática são usados menos de 10. São eles:

**Pino 2** - Transmissão de dados de DTE para DCE;

**Pino 3** - Transmissão de dados de DCE para DTE;

**Pino 20** - DTR, o equipamento DTE está operando (também indica por *DTE Ready*);

**Pino 6** - DSR - o equipamento DCE está operando;

**Pino 4** - RTS - pedido de DTE para iniciar o envio;

**Pino 5** - CTS - DCE está pronto para receber;

**Pino 8** - DCD - o DCE detecta a portadora;

**Pino 7** - Massa;

**Pino 1** - Terra de proteção.

Os sinais menos usados são:

**Pinos 15, 17, 24** - *Clock* empregado apenas nas comunicações síncronas.

Na **tabela 1** temos os nomes das siglas mais usadas em inglês.

## CONEXÕES

As conexões entre os dispositivos DTE e DCE de um sistema RS-232 usam diversos tipos de conectores cujas pinagens são padronizadas.

Na **figura 4** vemos a pinagem de um conector DB-9, definida pela norma EIA-574, encontrada nas portas de comunicações do PC e que é usada na comunicação assíncrona de dados (RS-232/V.24).

Para aplicações assíncronas também encontramos um conector modular cuja pinagem é definida pela norma EIA-561. Esse conector é mostrado na **figura 5**, onde também são vistos os sinais encontrados em cada uma das oito linhas.

Para o conector DB25, que use dados binários seriais, temos a pinagem ilustrada na **figura 6**.

Especificações:

- Modo de operação: terminal simples;

- Total de *drivers* e receptores numa linha: 1 *driver* e 1 receptor;

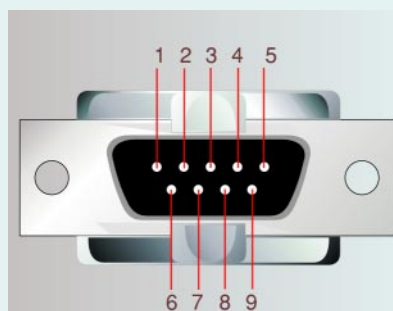
- Comprimento máximo de cabo: 50 pés (15 metros);

- Máxima velocidade de transmissão de dados: 20 kb/s;

- Tensão máxima de saída: +/- 25 V;

Siglas	Significados
CTS	<i>Clear To Send</i> (DCE para DTE)
DCD	<i>Data Carrier Detected</i> (tom de um <i>modem</i> ) do DCE para o DTE
DCE	<i>Data Communications Equipment</i> (ex.: <i>modem</i> )
DSR	<i>Data Set Ready</i> (DCE para DTE)
DSRS	<i>Data Set Rate Selector</i> (DCE para DTE)- não usado comumente
DTE	<i>Data Terminal Equipment</i> (ex.: computador, impressora, etc.)
DTR	<i>Data Terminal Ready</i> (DTE para DCE)
FG	<i>Frame Ground</i> (blindagem ou chassi)
NC	<i>No Connection</i>
Rck	<i>Receiver</i> (externo) <i>Clock Input</i>
RI	<i>Ring Indicator</i> (tom de discagem detectado)
RTS	<i>Ready to Send</i> (DTE para DCE)
RxD	<i>Received Data</i> (DCE para DTE)
SG	<i>Signal Ground</i> (terra do sinal)
SCTS	<i>Secondary Clear to Send</i> (DCE para DTE)
SDCD	<i>Secondary Data Carrier Detected</i> (tom de um <i>modem</i> do DCE para o DTE)
SRTS	<i>Secondary Ready to Send</i> (DTE para DCE)
SRxD	<i>Secondary Received Data</i> (DCE para DTE)
STxD	<i>Secondary Transmitted Data</i> (DTE para DCE)
TxD	<i>Transmitted Data</i> (DTE para DTE)

Tabela 1 – Siglas mais utilizadas.



- 1 - Data Carrier Detect
- 2 - Received Data
- 3 - Transmitted Data
- 4 - Data Terminal Ready
- 5 - Signal Ground
- 6 - Data Set Ready
- 7 - Request to Send
- 8 - Clear to Send
- 9 - Ring Indicator

Figura 4 – Pinagem do conector DB-9.

- Sinal de saída do *driver* (carregado): +/- 5 V a +/- 15 V;

- Impedância de carga do *driver*: 3 a 7 kohms;

- Taxa de crescimento (máx): 30 V/ $\mu$ s;

- Resistência de entrada do receptor: 3 k a 7 kohms.

A maioria das 22 linhas de sinais do padrão EIA232 pertencem a conexões em que o DCE é um *modem*, caso em que se usa um protocolo que exige todas elas.

Para aplicações industriais em que o dispositivo remoto ligado ao PC não é um *modem*, ou ainda onde dois dispositivos DTE são interligados, um número menor de linhas é necessário.

Assim, as ligações dos pinos 15, 17 e 24 são utilizadas somente se o



protocolo exigir uma transmissão síncrona.

É interessante observar que em muitos casos, como a norma é usada para interligação direta, as características de equipamentos de fabricantes diferentes podem não casar, e isso pode acarretar problemas de funcionamento.

## A TRANSMISSÃO

Na **figura 7** mostramos a forma como um caractere típico ASCII é transmitido.

O modo mais comum de transmissão de sinais é o assíncrono (em que não há necessidade do transmissor estar sincronizado com o receptor, pois ele é informado quando cada “pacote de dados” começa e termina) dispondo de bits de *start* e *stop*.

Assim, o sinal é formado por bits individuais que são enviados (um a

um) em um “pacote” de tamanho definido no formato ASCII.

A quantidade de bits de cada pacote pode variar de 5 a 8, os quais são enviados depois de um sinal de *start* que é reconhecido quando a linha, que está normalmente no nível 1 (negativa), passa para o nível 0 (positiva). No flanco descendente do sinal (passagem de 1

para 0) há o reconhecimento do aviso de início de transmissão de mensagem.

No final do pacote de bits de dados é enviado também um bit de paridade que serve para verificar se a informação chegou correta, e depois um bit de *stop*.

Se este foi o último pacote, o nível da linha se mantém alto (1); mas se um novo pacote deve ser enviado, temos nova transição do nível 1 para o zero, que é reconhecida como *start*, e o processo se repete.

Observe que o sincronismo deste modo de transmissão é feito com base no bit de *start* de cada pacote.

No entanto, este processo de transmissão traz alguns problemas quando se pretende uma velocidade muito alta.

Para altas velocidades, o formato usado é aquele que apresentamos na **figura 6** onde temos um ou dois bytes de sincronismo.

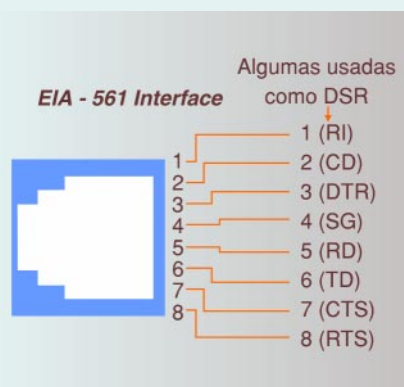


Figura 5 – Conector modular.

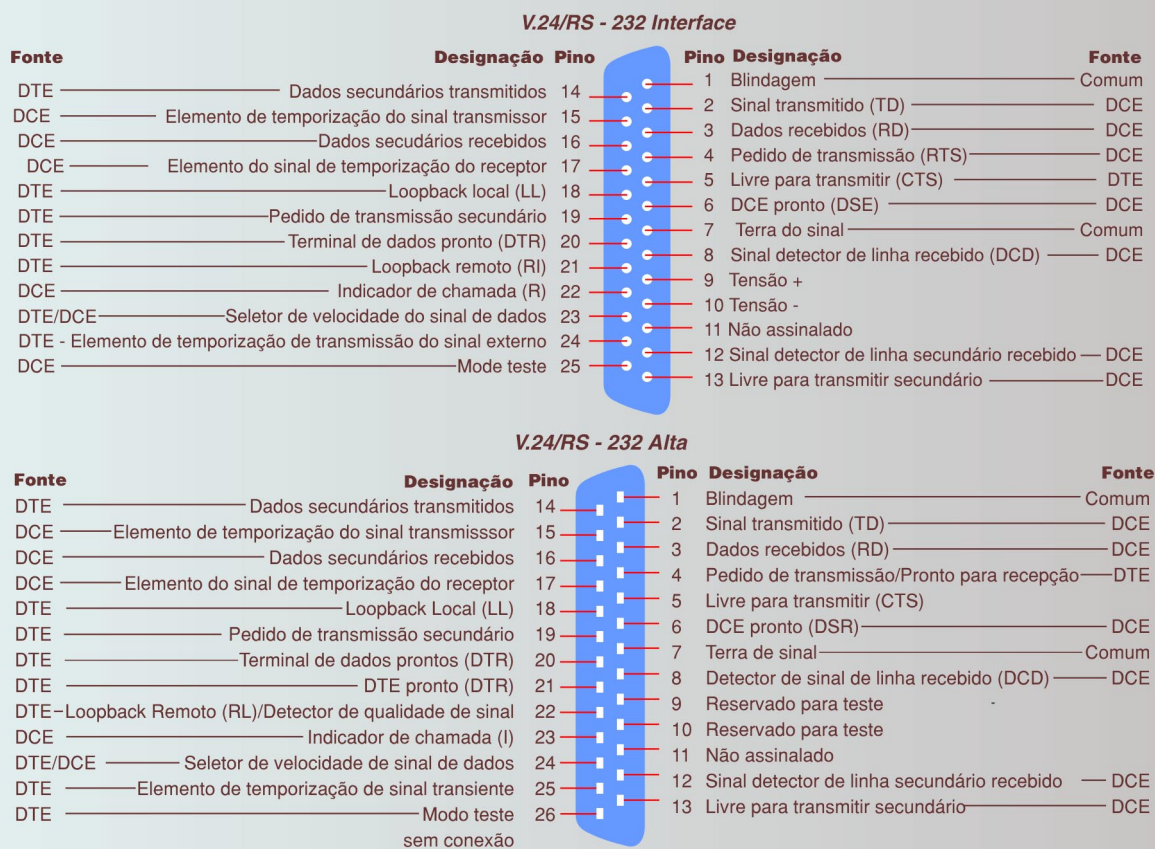


Figura 6 – Conector DB25.

No caso do código ASCII, este *byte* é o 0010110, seguindo-se então dois *bytes* de dados. Como a transmissão deve ser contínua, *bytes* de sincronismo devem ser intercalados quando necessário.

## PROTOCOLOS

Há duas técnicas de protocolos de comunicação: a de protocolo por sinais e de protocolo por códigos.

No “protocolo por sinais” são empregados alguns dos sinais da própria norma EIA232 para que os dispositivos conectados possam (ou não) receber as informações. Podem ser empregados dois pares de sinais para esta finalidade como o DTR/DSR ou ainda o RTS/CTS.

No primeiro caso, o sinal DTR ou RTS indica que o dispositivo DTE está conectado e pronto, enquanto que o sinal DSR ou CTS indica que é o dispositivo DCE que está pronto.

No protocolo por códigos há diversas técnicas possíveis todas baseadas em códigos. Uma delas é a que utiliza os códigos XON (caractere DC3 no ASCII) e XOFF (caractere DC1 em ASCII) para que o receptor possa avisar se está ou não em condições de receber as informações.

O funcionamento deste protocolo pode ser descrito em detalhes da seguinte maneira: inicialmente partimos da condição em que o receptor está pronto para receber informações, quando, então, o transmissor começa seu envio.

No momento em que a memória do receptor se aproxima do ponto de saturação, o receptor envia ao transmissor um sinal XOFF para que ele pare de enviar as informações. Quando a memória esvazia, à medida que o receptor vai usando as informações, e chega a um nível que pode receber mais, um sinal XON é enviado ao transmissor.

É possível também encontrar em algumas aplicações o protocolo que usa os caracteres ASCII ETX e ACK. O funcionamento deste protocolo é o seguinte: partindo do momento em que o transmissor pode receber si-

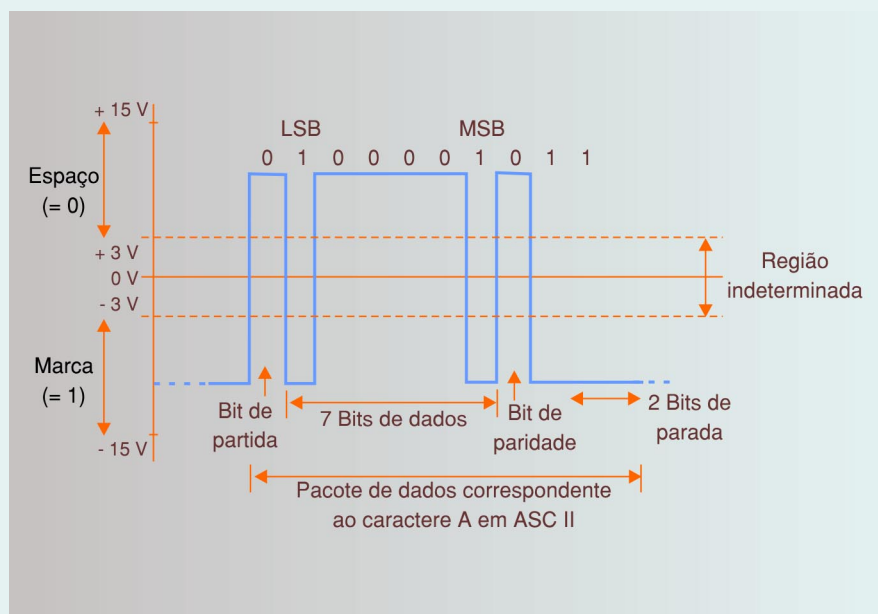


Figura 7 – Forma como um caractere típico ASCII é transmitido.

nais, ele envia uma série de pacotes que finaliza com o código ETX.

Assim que o receptor termina de assimilar a informação enviada e está pronto para receber mais, ele envia ao transmissor o sinal ACK. Os pacotes de informação adotados por este protocolo variam em tamanho de 80 a 132 *bytes*.

## CONSIDERAÇÕES SOBRE CABOS

Pode-se enviar sinais com segurança em uma linha a distâncias maiores que os 15 metros especificados como limite, mas isso depende de diversos fatores.

Evidentemente, não é possível blindar ou evitar de modo efetivo ruídos em um par trançado. Mesmo que seja feita a blindagem, podemos evitar os ruídos externos, mas não os problemas gerados internamente no próprio cabo.

À medida que a velocidade aumenta, os problemas de velocidade se tornam cada vez mais acentuados pelo efeito da capacitância do próprio cabo. Blindando cada fio do par, ou ainda usando fios de baixa capacitância, esse inconveniente problema pode ser eliminado.

Ao escolhermos um cabo para uma interface RS-232, deveremos

estar atentos a algo mais do que o número de condutores do cabo e sua “bitola”. Precisaremos ainda estar atentos à:

**a) Impedância característica** (ohms) - essa especificação é baseada nas características físicas do cabo e representa a impedância que um fio de comprimento infinito apresenta. Se essa impedância for igual à da terminação, o circuito do outro lado “vê” esse cabo como se ele não tivesse carga e fosse dotado de um comprimento infinito, evitando assim a ocorrência de reflexões dos sinais capazes de trazer problemas.

**b) Capacitância Shunt** (pF por metro ou pé) - é a capacitância apresentada pelo fio por unidade de comprimento adotada. Deve ser a menor possível.

**c) Velocidade de propagação** - (indicada em porcentagem da velocidade da luz).

## CONCLUSÃO

Não basta interligar um PC a uma ou mais máquinas para se usar eficientemente o protocolo RS-232. Conhecendo o modo como ele funciona, podemos evitar problemas simples como, por exemplo, os causados pelos cabos. □ □ □ □ □ □ □ □ □ □



# Manutenção preditiva e pró-ativa

Alexandre Capelli

**Como reduzir custos e prolongar a vida útil das suas máquinas e equipamentos.**

À medida que a concorrência fica cada vez mais acirrada, práticas antes consideradas irrelevantes tornaram-se, hoje, vitais para a sobrevivência de uma empresa no mercado. Um exemplo clássico disso é a manutenção. Neste artigo, faremos uma breve explanação sobre as vantagens que a manutenção preditiva e pró-ativa podem trazer para os processos produtivos.

### CONCEITOS IMPORTANTES

**T**emos certeza que não há confusão sobre a diferença entre a manutenção corretiva (e a preventiva). Aliás, esta última ganhou grande destaque no final da década de 80, aqui no Brasil, com os famosos programas de QT (Qualidade Total). Uma das “fermentas” célebres, e que até hoje ainda é muito utilizada, é a TPM (sigla inglesa para Manutenção Total Preventiva).

Entretanto, não é raro confundir-se manutenção preditiva com preventiva; e preditiva com pró-ativa.

A manutenção preventiva é aquela que ocorre antes da quebra da máquina. Sua função é evitar que haja

uma parada não programada na produção devido a qualquer falha do equipamento.

Alguns exemplos de práticas de manutenção preventiva:

- Troca do óleo lubrificante segundo as especificações do fabricante.
- Limpeza.
- Troca de peças por tempo de uso, e não por análise do estado real.
- Conferência dos ajustes, mesmo que não haja sinais de que estes estejam fora dos limites de tolerância.

A manutenção preditiva, a grosso modo, é um aperfeiçoamento da preventiva. Através de equipamentos, softwares e instrumentos, ela prevê quando uma falha poderá ocorrer.

As análises de vibrações, temperatura, química, e estrutural são as mais comuns nessa técnica de manutenção.

A grande diferença entre a preditiva e a preventiva é sua assertividade. Enquanto a manutenção preventiva troca uma peça pura e simplesmente pelo seu tempo de uso, a preditiva analisa sua condição real. A troca, então, só será realizada se o estado da peça em questão estiver fora dos padrões normais, não importando seu tempo de uso.

Fica óbvia sua vantagem sobre a preventiva, pois, além de trocar somente o que se faz necessário, isto acontece em tempo hábil antes da quebra.

Ora, qual leitor que nunca trocou uma peça de seu carro preventivamente, e essa, mesmo sendo mais nova e original, falhou antes de uma semelhante instalada na ocasião da montagem de seu veículo?!

De forma alguma estamos desprezando a manutenção preventiva. Claro que ela tem uma importância fundamental, porém, ainda utilizando o carro como exemplo, seria muito mais econômico um sistema que indicasse, por exemplo, quantos quilômetros você ainda poderia rodar com segurança sem trocar a “correia denteada”, ao invés de simplesmente trocá-la após completar 50 mil quilômetros.

Ambas as filosofias de manutenção (preventiva e preditiva) ocorrem na máquina, ou equipamento. A pró-



ativa, por outro lado, surge no meio em que ele está instalado.

Sua função é determinar as causas das falhas, geralmente ligadas a fatores externos ao equipamento propriamente dito.

“Qual a razão de instalarmos sistemas de climatização de ar (ar condicionado) em um escritório, ou qualquer outro ambiente informatizado?”

De imediato podemos citar duas: aumentar o conforto dos funcionários, e evitar sobre-aquecimento dos PCs.

“Qual delas podemos considerar uma manutenção pró-ativa?”

Ambas, visto que tanto uma quanto outra resultará na diminuição do índice de falhas e, conseqüentemente, em um aumento de produtividade e confiabilidade, seja pela redução do erro humano ou da máquina.

Resumindo, a manutenção pró-ativa atua nas variáveis ligadas as condições de uso, e na determinação e eliminação das causas potenciais de falhas

Um programa de treinamento dos funcionários a respeito do correto manuseio e operação de uma máquina é um exemplo de manutenção pró-ativa. Colocá-la em um ambiente controlado (temperatura, umidade, etc.) é outro.

## REDUÇÃO DE CUSTOS

Segundo o Comitê Panamericano de Engenharia de Manutenção – Copiman, as empresas que utilizam metodologia pró-ativa, e preditiva possuem entre 48% a 78% a mais de eficiência operacional.

Além disso, há uma significativa maximização do ciclo de vida e do retorno sobre seus ativos.

## MANUTENÇÃO PREDITIVA

Agora que já definimos cada uma delas, vamos a uma rápida análise dos principais parâmetros de manutenção preditiva.

### Objetivos de manutenção preditiva

- Determinar, com antecipação, a necessidade de manutenção em uma

peça específica de uma máquina.

- Eliminar gastos com mão-de-obra para desmontagens desnecessárias para inspeção.

- Aumentar o tempo contínuo de operação (disponibilidade).

- Reduzir paradas não programadas (trabalhos de emergência).

- Impedir o aumento de danos.

- Aproveitar ao máximo a vida útil dos componentes de um equipamento.

- Aumentar a confiabilidade da máquina e do produto final.

### Execução da manutenção preditiva

Há duas formas de realizar a manutenção preditiva: através de instrumentos e com pessoal qualificado, ou automaticamente pela própria máquina.

Os fenômenos mais comuns sob análise preditiva são de origem mecânica (vibrações, pressão, temperatura, aceleração, etc.), porém, fenômenos elétricos também têm sido alvo de estudos recentemente. A qualidade da energia elétrica é um deles.

De qualquer modo, todos eles podem ser monitorados e controlados através da intervenção humana. Neste caso, planilhas, instrumentos, e pessoal qualificado são empregados para a execução do processo.

Com o avanço tecnológico, entretanto, muitas máquinas já vêm equipadas com sensores (de vibração, temperatura, deformação, etc.) e softwares preditivos, que são capazes de informar o estado das suas partes críticas. A IHM (Interface homem-máquina) em conjunto com PLCs, atualmente, são muito utilizadas para esta função. Através de mensagens na tela, o próprio operador pode programar a parada da máquina para sua manutenção.

Infelizmente, nem tudo pode ser monitorado automaticamente. A análise química (óleos lubrificantes e refrigerantes, por exemplo) ainda é feita sob intervenção humana, pelo menos na maioria dos casos.

Já a análise estrutural (dilatações, vibrações, etc.) pode ser monitorada eletronicamente.

## MANUTENÇÃO PRÓ-ATIVA

Falar sobre quais parâmetros devemos considerar na manutenção pró-ativa é impossível. “Cada caso é um caso”.

Apenas para exemplificar melhor, a própria consulta ao fabricante da máquina sobre qual o melhor modelo para seu produto, pode, ao meu ver, ser considerada uma prática de manutenção pró-ativa.

“Mas isso não é tarefa do setor de projeto e desenvolvimento?”

Sim, mas quem disse que ele não depende da manutenção, e vice-versa?!

Ora, imaginemos um torno CNC cujo eixo-árvore é equipado com um motor de 10 HP. Dependendo da geometria da peça, tempo de usinagem estimado, dureza do metal, etc., talvez, sua vida útil já esteja comprometida no ato da compra.

O relacionamento franco entre fornecedor e cliente, bem como empresa e funcionário, são fundamentais para o processo de uma manutenção pró-ativa.

“Quer uma sugestão para começar seu programa?”

Então faça uma pesquisa sobre o que o pessoal no “chão-de-fábrica” pensa a respeito do que pode contribuir para a redução das paradas não programadas. Analise tudo; pegue um caso que lhe pareça mais coerente; ponha em prática tais idéias; compare os resultados.

Falo por mim, mas, toda vez que faço isso, fico pasmo com minha “inocência”.

## CONCLUSÃO

De um modo geral, pode-se afirmar que a aplicação de programas de manutenção preditiva e pró-ativa nas indústrias resulta, a médio e a longo prazo, em reduções da ordem de 2/3 nos prejuízos com interrupções inesperadas de produção, além de 1/3 nos gastos com a “manutenção” desnecessária ou incorreta.



# Distúrbios no fornecimento de energia

Osmar Brune

Equipamentos eletro-eletrônicos podem ser perturbados por um fornecimento de energia de má qualidade. Além disso, eles podem piorar a qualidade do fornecimento de energia. Do ponto de vista do equipamento, no primeiro caso trata-se de um problema de *imunidade*, e no segundo trata-se de um problema de *emissões*. Estes dois conceitos, e outros, foram abordados no primeiro artigo desta série (*EMC e EMI: Compatibilidade e Interferência Eletromagnética*).

Nesta edição, analisaremos diversos tipos de distúrbios no sistema de fornecimento de energia, suas causas típicas, como eles podem afetar equipamentos e como, em contrapartida, equipamentos podem gerar distúrbios no sistema de fornecimento de energia. Serão analisadas, também, técnicas para prevenir estes problemas.

## OS TIPOS DE DISTÚRBO

**O**s distúrbios são classificados em 5 áreas:

- variações de tensão;
- variações de frequência;
- distorções na forma de onda;
- transientes;
- ruídos contínuos.

A **figura 1** ilustra os principais tipos, em cada uma destas áreas.

### Variações de tensão

Há três tipos, dependendo da sua duração:

- Distúrbios de pequena duração, variando desde meio ciclo até poucos segundos, são chamados de “*swells*” (aumentos de tensão) e “*sags*” (diminuições de tensão). Não encontramos termos equivalentes em português;

- Distúrbios de maior duração do que alguns poucos segundos são chamados *subtensões* ou *sobretensões*;
- *interrupções de energia* é o termo utilizado para perda total de energia por mais do que alguns poucos segundos.

Por outro lado, variações de tensão são muito rápidas, menores do que meio ciclo de onda (8,33 ms em 60 Hz), são classificados em outra área (transientes).

Concessionárias de energia podem causar “sags” e subtensões. Existem casos em que a tensão é reduzida deliberadamente em picos de demanda. Usuários também podem causá-los, por exemplo, ao energizar cargas de alta potência. Subtensões e “sags” profundos podem causar problemas em equipamentos eletrônicos, fazendo com que suas fontes de alimentação tenham déficit de energia.

Por outro lado, sobretensões e “swells” são causados quase que unicamente pelas concessionárias de energia, resultando de variações bruscas de carga, ou de correções do fator de potência. Estes distúrbios raramente causam problemas em equipamentos eletrônicos que incorporem fontes de alimentação reguladas.

Interrupções de energia podem durar de poucos segundos até várias horas, e normalmente são causadas por tempestades, falhas em transformadores, acidentes ou desligamento de disjuntores.

### Variações de frequência

Tais variações normalmente se dão devido à má regulação de geradores. Tais distúrbios são raros em grandes sistemas interligados, onde a frequência tipicamente é mantida muito próxima de 60 Hz. Além disso, as variações são compensadas num período de 24 hs, para que relógios e outros dispositivos baseados nesta frequência não percam precisão. Variações de frequência ocorrem em geral em pequenos sistemas de energia independentes alimentados por pequenos geradores.

Grande parte dos equipamentos eletrônicos não são afetados por pequenas variações de frequências. Muitos são fabricados para funcionar na faixa de 47 Hz a 63 Hz, atendendo tanto aos mercados de 50 Hz como de 60 Hz. Motores e transformadores ferro-ressonantes, no entanto, podem ser afetados por variações de frequência.

## Distorções na forma de onda

Tais distorções incluem tanto distorções de tensão como de corrente, relativas a uma senóide pura. Considerando que qualquer forma de onda diferente de uma senóide pura contém harmônicas, este problema é freqüentemente referido como distorção harmônica. Um termo comum é "total harmonic distortion" (THD), que é simplesmente toda a energia harmônica residual, depois de remover a freqüência fundamental.

Há dois tipos de distorção harmônica: de tensão e de corrente. Distorções de tensão podem ser causadas por equipamentos de distribuição defeituosos, ou por fontes de alta impedância que convertem quaisquer distorções de corrente em distorções de tensão. Distorções de corrente são causadas por cargas não lineares, tais como fontes chaveadas, que drenam pulsos estreitos de energia no pico da senóide, ao invés de consumir corrente em todo o ciclo (ver figura 2).

Esses tipos de distorção não causam problemas em equipamentos eletrônicos, mas distorções de corrente provocam estresse severo em equipamentos de distribuição de energia, ocasionando aquecimento de transformadores, mau funcionamento de motores, e desbalanço em sistemas trifásicos sobrecarregando condutores neutros.

Algumas normas européias, desde janeiro de 2001, estão limitando harmônicas geradas por equipamentos eletrônicos. Nos Estados Unidos, há uma pressão econômica, pois as concessionárias sobretaxam usuários que distorcem a corrente. Provavelmente, haverá uma demanda em embutir nos equipamentos eletrônicos sistemas de correção de fator de potência.

### Transientes

Transientes são distúrbios de pequena duração, bem menor do que um ciclo (16,6 ms em 60 Hz ou 20 ms em 50 Hz), que tanto podem aumentar a forma de onda ("spikes") como diminuí-la ("notches"). Nova-

mente, não encontramos traduções adequadas para "spikes" e "notches". Ambos ainda podem ser chamados de "glitches". A duração de transientes pode variar de nanossegundos até alguns poucos milissegundos, e a amplitude pode variar de poucos volts até milhares de volts.

Os transientes são problemas sérios para equipamentos eletrônicos modernos. Eles podem causar danos devido a altos níveis de tensão ou energia, bem como podem perturbar o funcionamento devido aos rápidos tempos de subida e descida.

Sistemas digitais são particularmente suscetíveis a perturbações, pois um "glitch" causado por um transiente pode ser interpretado como um pulso lógico válido, causando os mais variados tipos de comportamentos anômalos.








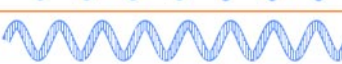
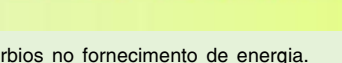
Variações de tensão	
Variações de curta duração na amplitude (sags e swells)	
Sobretensões	
Subtensões	
Interrupções de energia	
Variações de freqüência	
Sobrefreqüências	
Subfreqüências	
<b>Distorções</b>	
<b>Transientes</b>	
<b>Ruído Contínuo</b>	

Figura 1 – Tipos de distúrbios no fornecimento de energia.

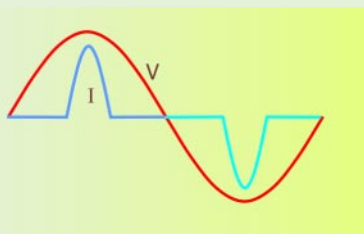


Figura 2 – Distorção de corrente.

Os transientes podem ser gerados dentro ou fora da instalação do consumidor. Fontes externas de transientes típicas são descargas atmosféricas (raios), chaveamento de capacitores de compensação de fator de potência, e falhas no sistema de distribuição de energia. Fontes internas de transientes tipicamente incluem motores ou outras cargas indutivas, e chaveamento de contatos de relés. Chaveamentos de relés, muito comuns em sistemas de automação industrial, produzem arcos que se constituem numa série de pulsos que podem perturbar seriamente sistemas microprocessados.

Duas normas comuns sobre transientes que se aplicam a equipamentos eletrônicos abrangem as descargas atmosféricas e o transiente elétrico rápido ("electrically fast transient", EFT). São normas voluntárias nos Estados Unidos, incluídas na ANSI/IEEE C62.41. Na Europa, aparecem na IEC 61000-4-4 (EFT) e IEC 61000-4-5 (surtos), que foram adotadas pela Comunidade Européia com normas européias EN61000-4-4 e EN61000-4-5.

### Ruído contínuo

Este tipo refere-se a perturbações repetitivas e com uma freqüência bem



mais alta do que a frequência da linha de alimentação. Em baixas frequências, este ruído pode estar associado com faiscamento de escovas de motores, lâmpadas fluorescentes ou fontes chaveadas. Em frequências maiores, este ruído inclui RFI (*Radio Frequency Interference*) proveniente de transmissores de rádio próximos que se acopla nas linhas de energia.

A maior parte dos equipamentos eletrônicos pode conviver com uma dose pequena de ruído contínuo, particularmente equipamentos que incorporam algum tipo de filtro EMI para emissões. Tais filtros, embora projetados para evitar emissões, são bidirecionais, e ajudam também a aumentar a imunidade.

## TIPOS DE FALHAS CAUSADAS PELOS DISTÚRBIOS

As falhas provocadas por distúrbios destes tipos podem variar desde danos graves até pequenas perturbações. Além disso, diferentes tipos de distúrbios atingem diferentes partes de um sistema, como mostra a **figura 3**. É importante ter isto em mente para definir uma estratégia para enfrentar o problema.

### Danos devidos a altos níveis de energia

As causas mais prováveis de danos são os transientes de alta tensão. O mais severo normalmente é a descarga atmosférica, que pode atingir níveis como 6000 V e 2000 A. Os mecanismos de destruição são ruptura por alta tensão, aquecimento por excesso de energia, ou ambos.

Eventualmente, a destruição pode ser tolerada em alguns tipos de equipamentos, desde que o equipamento não atinja uma condição insegura, como incendiar-se. Este é o caso de produtos como TVs e videocassetes, onde o custo da proteção total seria proibitivo. Mas esta filosofia não é recomendada, por exemplo, em controles industriais, onde normalmente deve-se utilizar a máxima proteção.

Falhas	Causas típicas
Perturbação em sistema digital	"Spikes" ou EFT
Perturbação em sistema analógico	"Sags" ou "Swells", sobretensões ou sub tensões
Perda em memória	Déficit de energia, devido a sub tensões ou interrupções de fornecimento de energia.
Dano	Transientes de alta voltagem, como descargas atmosféricas

Figura 3 – Tipos de falhas X causas típicas.

Danos provocados por ligeiras sub tensões ou "swells" não são comuns, especialmente quando fontes reguladas ou "full-range" são utilizadas.

### Perturbações em sistemas digitais devidos a Spikes rápidos e ruído

A causa mais comum de perturbações em sistemas digitais são os altos "slew rates" (ou baixíssimos tempos de subida/descida de sinais). Neste caso, as altas derivadas de tensão ( $dV/dt$ ) ou de corrente ( $dI/dt$ ) são as responsáveis pelos problemas.

Quanto maior o "slew rate" ( $dV/dt$  ou  $dI/dt$ ), maior a probabilidade de um "spike" se acoplar ao circuito digital através de uma capacitância ou indutância parasítica, e causar problemas na forma de pulsos falsos. Quanto mais rápida for a lógica digital, mais aumenta este problema, pois então a frequência equivalente destes "spikes" se aproxima da frequência do circuito.

Mas, afinal, as fontes de alimentação não possuem filtros passa-baixa, que deveriam eliminar estes "spikes"? Infelizmente, a maior parte destes filtros torna-se ineficiente acima de 100 kHz ou 1 MHz. Muitos filtros de linha comerciais, acima de 30 MHz, não introduzem nenhuma atenuação. Como grande parte da energia dos transientes rápidos está acima de 30 MHz, não há nada que os pare. Por exemplo, um pulso de EFT com 5 ns de tempo de subida, possui uma frequência equivalente da ordem de 60 MHz.

### Perturbações em sistemas analógicos devidas a "Sags" e "Swells"

Circuitos analógicos tipicamente não são afetados por transientes rápidos, devido a sua baixa banda de frequência. Entretanto, podem ser vulneráveis a variações lentas como "sags" e "swells". Estes efeitos são críticos em estágios com baixo nível de sinal, nos quais pequenas variações na tensão de alimentação podem ser amplificadas para os estágios subseqüentes. A melhor estratégia de combate a este problema é colocar reguladores locais para os circuitos analógicos críticos.

### Perdas de memória devidas a sub tensões ou interrupções de energia

Se a tensão baixar demais por um período suficientemente longo, a fonte de alimentação poderá não conseguir manter a tensão de saída. Se houver memória RAM, dados serão perdidos, a menos que algumas precauções tenham sido tomadas, tais como utilizar uma bateria *backup*.

Deve-se ter cuidado em dimensionar os armazenadores de energia, como capacitores. Normalmente é necessário garantir o funcionamento de equipamentos considerando uma perda total de energia pelo menos por meio ciclo de rede (8,33 ms em 60 Hz, 10 ms em 50 Hz). Muitas interrupções de energia são mais curtas que meio ciclo de rede. Alguns dispositivos de proteção utilizados em fontes de alimentação para suprimir transientes costumam atuar no início de um ciclo, e serem



Figura 4 – Perda de 1/2 ciclo devida a proteção "Crowbar".

desativados no próximo meio ciclo, quando ocorre a reversão da tensão AC (ver **figura 4**).

### ESPECIFICANDO UMA FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Se você quer especificar uma fonte de alimentação para seus projetos, aqui vão algumas sugestões baseadas em diversos documentos e especificações de teste.

#### "Sags", "Swells", subtensões e sobretensões

A **figura 5** mostra uma curva de suscetibilidade a variações de tensão. A curva diz que a fonte deve tolerar uma sobretensão de 106% e uma subtenção de 87% em regime permanente. Ademais, deve tolerar um perda total de energia por um tempo inferior a 1/2 ciclo de rede (8,33 ms em 60 Hz). Também deve tolerar uma sobretensão de 300% para transientes de 100  $\mu$ s, 200% para transientes de 1 ms, e assim por diante. Esta curva é recomendada pela norma IEEE 1100.

#### Transientes com baixo nível de energia

Recomenda-se utilizar a norma IEC 1000-4-4 ("Electromagnetic compatibility for industrial process measurement and control equipment – Part 4 – Electrically fast transient/burst requirements"). Este teste simula faiscamentos provocados por relés ou cargas indutivas, que podem provocar problemas em circuitos digitais microprocessados.

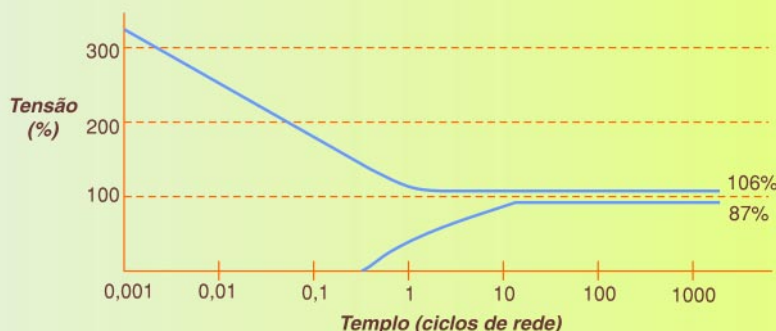


Figura 5 – Objetivos típicos para subtenções e sobretensões.

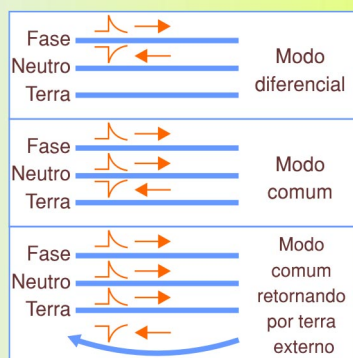


Figura 6 – Modo comum X modo diferencial.

#### Transientes com alto nível de energia

Para ambientes hostis ou aplicações críticas, sugere-se utilizar a especificação para descargas atmosféricas descrita na IEEE C62.41. Estes testes simulam surtos induzidos por descargas atmosféricas em linhas de energia. Este teste muitas vezes é considerado destrutivo, mas não pode levar o equipamento a uma situação perigosa, como um incêndio.

#### Ruído contínuo

Recomenda-se um subconjunto do método GS102 MIL-STD-461, limitando a frequência entre 150 kHz e 80 MHz, e regulando a amplitude entre 1 e 3 Vrms.

### PREVENÇÃO DOS PROBLEMAS

Agora que você já está ciente dos problemas e de suas ramificações, estudemos algumas medidas de prevenção que podem ser aplicadas na

fase de projeto do produto. Adicionando dispositivos adequados, você pode eliminar a necessidade de proteção externa, obtendo um produto mais robusto, com menos problemas misteriosos no campo.

#### Modos comum e diferencial

Antes de iniciarmos, você deve entender um conceito. Correntes de ruído podem fluir de dois modos, conforme ilustra a **figura 6**.

No modo *diferencial*, a tensão de ruído aparece entre os condutores individuais onde a corrente flui (fase e neutro). A corrente de ruído flui no mesmo caminho da corrente intencional (no fase e neutro, com sentidos opostos nestes dois condutores).

No modo *comum*, a tensão de ruído aparece entre os condutores onde a corrente flui (fase e neutro) e o terra. As correntes fluem em fase entre si (no mesmo sentido) nos condutores fase e neutro, e em sentido oposto retornam pelo terra. Um caso especial do modo comum ocorre quando a corrente de ruído flui em fase nos condutores neutro, fase e terra de segurança, e retorna por um terra externo.

Estas distinções são importantes, pois algumas medidas de prevenção só eliminam um dos tipos de ruído. Além disso, o modo de ruído normalmente dá uma pista para a origem do ruído. Distúrbios de modo diferencial provavelmente provêm do mesmo circuito, ou seja, são conduzidos. Ruídos de modo comum tipicamente são acoplados por irradiação. De uma forma geral, ruídos de modo diferencial predominam em fre-

qüências abaixo de 1 MHz, enquanto os de modo comum predominam em freqüências acima de 1 MHz.

## Dispositivos de proteção

A seguir, apresentamos alguns dispositivos de proteção que você poderá incluir em seu equipamento para minimizar os efeitos dos distúrbios mais comuns em linhas de energia.

### Protetores de transientes

Protetores de transientes impedem que a energia vinda da linha ultrapasse determinados níveis, e incluem três tipos de dispositivos: tubos de gás, varistores de metal-óxido (MOVs) e diodos zeners de silício. Cada tipo tem seus prós e contras, dependentes do tempo de resposta e capacidade de energia.

Pode-se dividir os dispositivos em dois tipos: limitadores ("clamping") e "crowbar". Limitadores impedem que a tensão passe de determinado limite mantendo-a neste limite, enquanto dispositivos de "crowbar" produzem um curto-circuito momentâneo quando a tensão limite é excedida.

Diodos zener e MOVs são dispositivos limitadores. Eles limitam a tensão e dissipam a energia adicional. Estes dispositivos tipicamente são quantificados em Joules de energia que podem dissipar. Seus tempos de resposta são rápidos, sendo os diodos zener mais rápidos do que os MOVs. Em contrapartida, MOVs geralmente podem dissipar mais energia, o que os torna mais robustos para proteção de linhas de energia.

Tubos de descarga de gás são dispositivos "crowbar". Quando o gás se ioniza, a tensão sobre o arco ionizante cai para um nível muito baixo, e a maior parte da energia é refletida ao invés de absorvida. Esta energia deve ser desviada para o terra. Os tempos de resposta são piores do que os de dispositivos limitadores, mas ainda são adequados para descargas atmosféricas, para as quais esta proteção é muito utilizada.

Alguns protetores de transientes comerciais combinam dispositivos

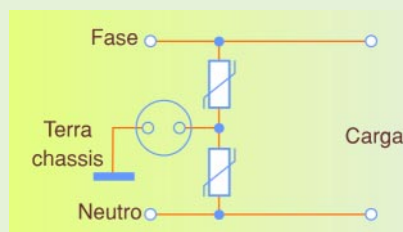


Figura 7 – Protetor de transientes híbrido.

limitadores e "crowbar" num dispositivo híbrido. Tais dispositivos incluem proteções de alta velocidade e para altas quantidades de energia a um custo razoável. Pode-se utilizá-los na proteção de fontes primárias em sistemas robustos, no entanto, em nível de equipamentos eletrônicos individuais, MOVs ou zeners normalmente são suficientes.

Os protetores de transientes devem ser instalados tanto entre linhas de entrada de alimentação (fase e neutro), quanto entre linhas e o terra, para prover proteção de modo comum e diferencial. A **figura 7** mostra um exemplo de dispositivo híbrido que provê este tipo de proteção. Observa-se um dispositivo "crowbar" (tubo de gás) ligado ao terra do chassis (modo comum), que pode ser requerido em produtos destinados ao mercado europeu. Agências européias de segurança preocupam-se com eventuais curtos ao chassis, e assumem que um curto num tubo de gás é bem menos provável do que num zener ou MOV.

### Filtros EMI

Tais filtros são dispositivos lineares armazenadores de energia. Eles atenuam tanto "spikes" quanto "notches" na forma de onda de energia. Sendo dispositivos lineares, eles agem proporcionalmente, ao invés de limitar a tensão em determinado nível. Filtros são utilizados para remover baixos níveis de energia RF contínua, embora também atenuem transientes de alta freqüência.

A maior parte dos filtros de linha EMI comerciais protegem em modo comum e diferencial. A **figura 8** exibe um filtro EMI típico, que combina indutores de modo comum e diferencial, com capacitores de modo co-

mum e diferencial. A figura também mostra um pequeno indutor opcional no terra de proteção, que reforça a filtragem em modo comum. Isto pode ser eficaz contra ruídos de modo comum produzidos por motores ou descargas atmosféricas. Este indutor deve ser pequeno o suficiente para não bloquear a descarga de 60 Hz contra o terra de segurança.

Filtros são defesas importantes contra ruídos de RF, mas podem falhar devido a instalação ou projeto deficientes. A seguir, citam-se alguns problemas comuns com filtros, assumindo que sejam filtros passa-baixa, que é a configuração mais comum para controle de interferência.

- A faixa de freqüência do ruído é muito alta. Embora filtros passa-baixa ideais atenuem todas as freqüências acima de determinado limite, filtros reais começam a deixar passar freqüências altas devido a capacitâncias e indutâncias parasíticas. Como regra, pode-se esperar que um filtro comece a falhar entre 100 e 1000 vezes sua freqüência de projeto. Por exemplo, se foi projetado para 20 kHz, ele começa a perder eficiência acima de 2 MHz. Em torno de 20 MHz, ele fica completamente ineficiente. A solução para isso é colocar vários estágios de filtragem. Um estágio poderia filtrar de 10 kHz a 1 MHz, outro de 1 MHz a 100 MHz, e outro de 100 MHz a 1 GHz.

- Aterramento pobre. Conexões de baixa impedância são fundamentais para boa filtragem de altas freqüências. A **figura 9** ilustra este problema num filtro  $\pi$  simples. A alta impedância de aterramento (pode ser resistiva ou indutiva) permite que as altas freqüências escapem do filtro.

### Transformadores de isolamento

Transformadores de isolamento são transformadores de potência sem conexão direta entre primário e secundário. Desta maneira, existe isolamento entre a entrada de energia e a carga. Devido à isolamento, eles oferecem uma proteção contra ruídos de modo comum. Proteção em



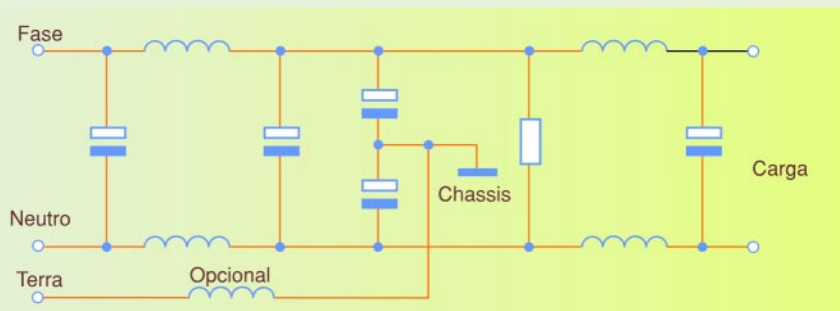


Figura 8 – Exemplo de Filtro EMI.

modo diferencial também é oferecida pelas próprias bobinas.

Infelizmente, a isolamento e a blindagem se degradam à medida que a frequência cresce, devido a capacitâncias parasíticas entre os enrolamentos de entrada e saída. A isolamento em altas frequências pode ser melhorada adicionando blindagens capacitivas entre enrolamentos para interceptar correntes indesejáveis. Estas blindagens podem prover atenuação em modo comum ou diferencial, dependendo de onde são conectadas. O segredo é interceptar as correntes de ruído e fazê-las retornar para sua fonte. Para modo comum, conecte a blindagem no terra, e para modo diferencial conecte no neutro. As conexões da blindagem devem ser curtas para minimizar sua indutância.

Transformadores de isolamento funcionam melhor em baixas frequências, até 10 MHz, ou para transientes com tempos de subida ou descida de até 300 ns. A maior parte dos ruídos provocados por motores ou descargas atmosféricas estão nesta faixa. No entanto, transformadores de isolamento não funcionam bem para transientes de alta velocidade, como EFT (5 ns) ou ESD (1 a 3 ns).

### A Importância da instalação

Instalação adequada é essencial para cada um dos dispositivos de proteção descritos anteriormente. É necessário manter os terminais dos componentes curtos para minimizar indutâncias. O mesmo vale para conexões de filtros e blindagens de transformadores de isolamento para o terra.

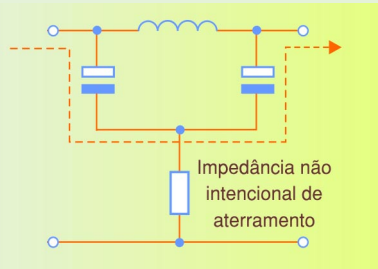


Figura 9 – Filtro com aterramento pobre..

Deve-se colocar protetores de transientes e filtros no ponto de entrada do equipamento para minimizar a poluição das conexões internas. Quando se usam tanto protetores de transientes quanto filtros, é preciso instalar os protetores mais próximos da entrada de energia para proteger os filtros e outros dispositivos internos.

Pode ser necessário combinar mais do que um método de proteção, dependendo dos problemas contra os quais desejamos nos prevenir ou solucionar. Lembre-se que transformadores de isolamento funcionam melhor em frequências baixas, e filtros funcionam melhor em frequências maiores. Portanto, a combinação de dispositivos pode proporcionar grande variedade de proteções. O mesmo princípio vale para protetores de transientes. Você pode utilizar um dispositivo zener (rápido, baixa energia) em conjunto com um tubo de descarga de gás (lento, alta energia).

### Geração de harmônicas por equipamentos do usuário

A origem deste problema já foi discutida anteriormente neste artigo, na seção *Distorções na Forma de*

*Onda*. O problema cresce de maneira astronômica, proporcionalmente ao uso de cargas eletrônicas e fontes chaveadas.

Na Europa, já estão surgindo normas para limitar este tipo de harmônicas (EN61000-3-2). Nos Estados Unidos, concessionárias de energia sobretaxam consumidores com fator de potência pobre. Os grandes usuários, em consequência disso, irão pressionar os fabricantes de equipamentos para diminuir as harmônicas geradas.

Os efeitos da geração de harmônicas na distribuição de energia são sérios. Podem sobreaquecer transformadores e fiações de neutro em sistemas trifásicos, pois harmônicas triplas (múltiplos ímpares de 3, como 3ª, 9ª, 15ª, ...) se somam ao invés de se cancelarem.

Alguns dispositivos de estado sólido estão surgindo para reduzir as harmônicas geradas por fontes chaveadas. Estes “pré-reguladores” distribuem a corrente drenada pela fonte pelo ciclo inteiro, ao invés de produzir efeito similar ao mostrado na **figura 2**. Seu custo é razoável, mesmo para produtos que devem ser altamente competitivos em preço. E espera-se que o custo caia, se todos os equipamentos começarem a utilizar este tipo de dispositivos.

## CONCLUSÕES

Este segundo artigo da série sobre EMC/EMI abordou as interferências e emissões ligadas ao fornecimento de energia. Esperamos que tenha sido útil para esclarecer a origem de tais problemas, fornecendo métodos para preveni-los e solucioná-los.

Outros artigos desta série prosseguirão abordando outros tipos de interferências eletromagnéticas, como ESD e

### Bibliografia

- Daryl Gerke e Bill Kimmel - **EDN: The Designer's Guide to Electromagnetic Compatibility** - Kimmel Gerke Associates Ltd.

# Tolerância geométrica

## 2ª parte

Adriano Ruiz Secco

Para interpretar e fazer as indicações de tolerâncias geométricas nos desenhos técnicos é necessário conhecer os modos de representação do quadro de tolerância, elementos de referência e principalmente o conceito de campo de tolerância, extremamente importante para o entendimento da aplicação e verificação das tolerâncias geométricas no processo de produção.

### INDICAÇÃO NO ELEMENTO TOLERADO

Uma forma de indicar a tolerância geométrica no desenho técnico consiste em ligar o quadro de tolerância diretamente ao contorno do elemento tolerado por meio de uma linha auxiliar (linha contínua estreita) com uma seta na sua extremidade (**figura 1**).

Uma alternativa consiste em ligar o quadro de tolerância a uma linha auxiliar no prolongamento do contorno, se a tolerância se aplicar à linha ou à própria superfície (**figura 2**).

Quando a tolerância for aplicada a um eixo ou ao plano médio de um elemento cotado, o quadro de tolerância pode ser ligado à linha de extensão, em prolongamento à linha de cota. Ver **figura 3**.

O quadro de tolerância pode ser ligado diretamente ao eixo ou plano médio tolerado, quando a tolerância se aplicar a todos os elementos comuns a este eixo ou a este plano médio (**figura 4**).

Se a mesma característica de tolerância geométrica e o mesmo valor de tolerância forem especificados para vários elementos distintos, não é necessário repetir o quadro de to-

lerância para cada elemento. Em vez disso, as indicações de tolerância podem ser feitas como mostram as **figuras 5 e 6**.

Nos dois exemplos, a tolerância

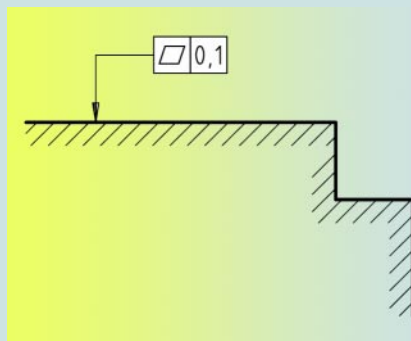


Figura 1 - Indicação no contorno do desenho.

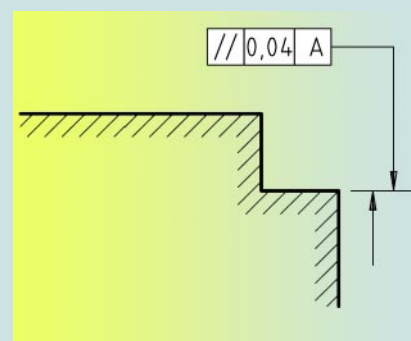


Figura 2 - Indicação no prolongamento do contorno do desenho.

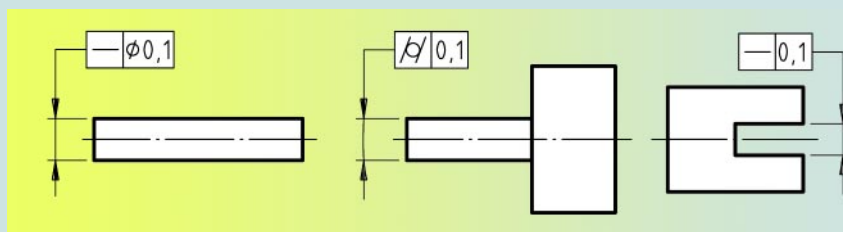


Figura 3 - Indicação no prolongamento da linha de cota.

de planeza, de no máximo 0,1mm, aplica-se igualmente aos três elementos indicados nos desenhos.

## INDICAÇÃO NO ELEMENTO DE REFERÊNCIA

Em alguns dos exemplos analisados anteriormente, os quadros de tolerância apresentavam uma ou mais letras maiúsculas representando os elementos de referência para verificação do elemento tolerado.

Nos desenhos técnicos, essas mesmas letras maiúsculas devem ser inscritas num quadro e ligadas ao elemento de referência por uma linha auxiliar (linha contínua estreita), que termina num triângulo **cheio** ou **vazio**, apoiado sobre o elemento de referência (**figura 7**).

A base do triângulo pode apoiar-se diretamente no contorno do elemento de referência ou no seu prolongamento. Só não é permitido apoiar a base do triângulo diretamente sobre uma linha de cota.

Quando o elemento de referência for um plano médio de uma parte cotada, ou um eixo, a base do triângulo pode ser apoiada numa extensão da linha de cota (**figura 8**).

Na **figura 9**, à direita, onde o elemento de referência é o plano médio do rasgo retangular, uma das setas foi suprimida por falta de espaço, o que é aceitável segundo a norma técnica.

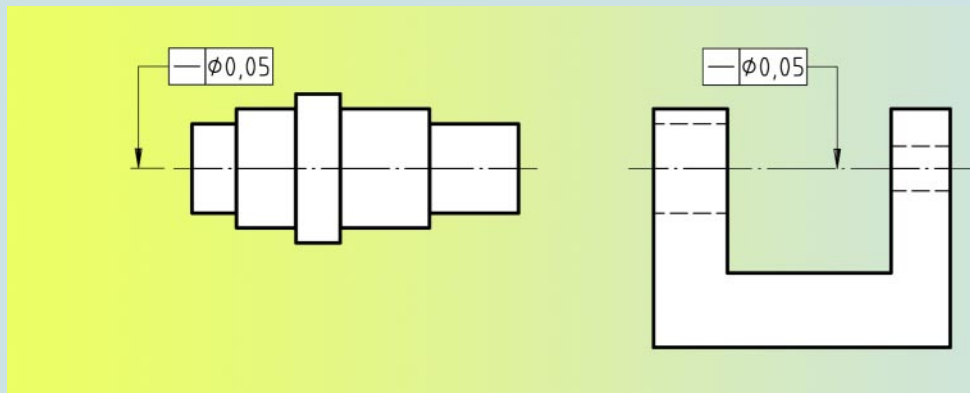


Figura 4 - Indicação no eixo ou plano médio.

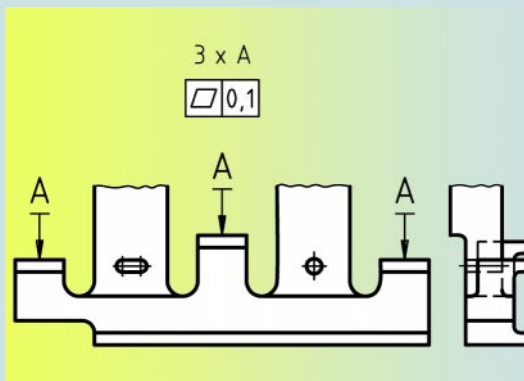


Figura 5 - Indicação a elementos comuns.

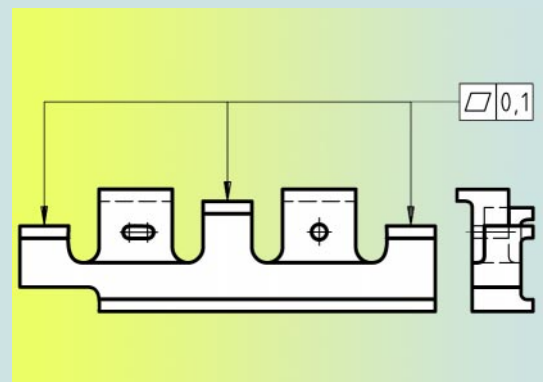


Figura 6 - Indicação a elementos comuns.

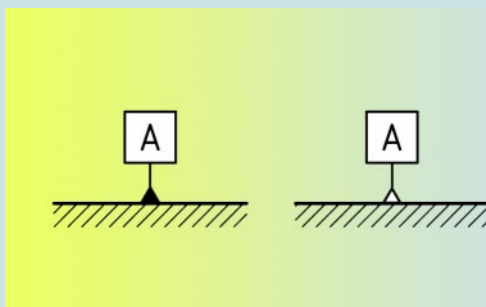


Figura 7 - Indicação da referência

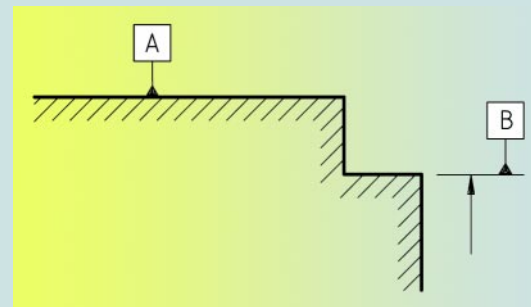


Figura 8 - Indicação no elemento de referência

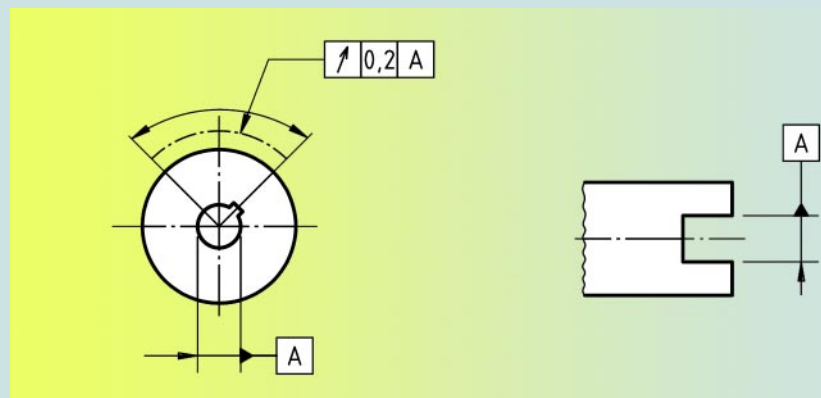


Figura 9 - Indicação no plano médio ou eixo.



A base do triângulo pode ser apoiada diretamente sobre o eixo ou plano médio do elemento de referência, quando se tratar do eixo ou plano médio de um elemento único ou do eixo ou plano médio **comum** a dois elementos (**figura 10**).

Se for possível ligar diretamente o quadro de tolerância ao elemento de referência, por uma linha auxiliar, pode-se dispensar a representação das letras (**figura 11**).

Para indicar que a tolerância restringe-se a uma parte limitada de um comprimento ou superfície, deve-se usar uma linha traço e ponto larga para delimitar a região tolerada (**figura 12**).

Do mesmo modo, se apenas parte do elemento de referência for tomada como base para verificação da característica tolerada, esta parte deve ser delimitada no desenho pela linha traço e ponto larga (**figura 13**).

Se houver restrições quanto à forma em alguma parte definida do elemento tolerado, a região correspondente também deve ser delimitada pela linha traço e ponto larga e uma nota deve ser escrita próxima ao quadro de tolerância especificando o tipo de restrição aplicável (**figura 14**).

## REPRESENTAÇÃO DAS COTAS BÁSICAS

São chamadas de cotas básicas as dimensões teoricamente exatas que determinam a posição, o perfil de uma linha ou de uma superfície qualquer ou a inclinação de um elemento.

Essas cotas não devem ser toleradas diretamente. No desenho, elas são representadas emolduradas, como mostra a **figura 15**.

No exemplo, as cotas de localização dos furos aparecem dentro de um quadro, o que significa que se tratam de cotas básicas. A tolerância de posição aparece indicada em relação ao centro de cada furo, tomando como referência as arestas horizontal e vertical da peça. Este tipo de indicação tem por objetivo evitar o acúmulo de erros de localização dos elementos na produção da peça.

As várias tolerâncias geométricas são definidas com suas respectivas

zonas de tolerância. Essas zonas correspondem ao que a norma NBR 6409:1997 chama de **campo de tolerância**, conceito extremamente importante para o entendimento da aplicação e verificação das tolerâncias geométricas. Este conceito será explicado, em linhas gerais, no próximo tópico. Depois, será retomado quando se tratar de cada um dos tipos de tolerância geométrica, em detalhes.

## CAMPO DE TOLERÂNCIA

A tolerância geométrica para um elemento, define uma região dentro da qual o elemento tolerado deve estar contido. Portanto, **campo de tolerância** é o espaço onde devem estar localizados os desvios de forma, de posição e de orientação do elemento tolerado, em relação à sua forma geométrica ideal.

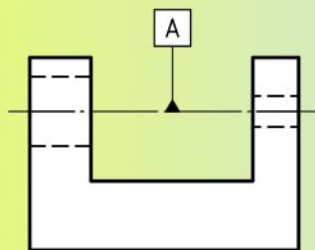


Figura 10 - Indicação no plano médio comum.

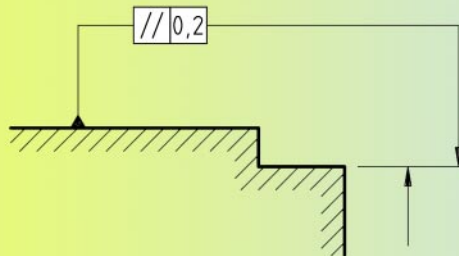


Figura 11 - Indicação de referência sem letras.

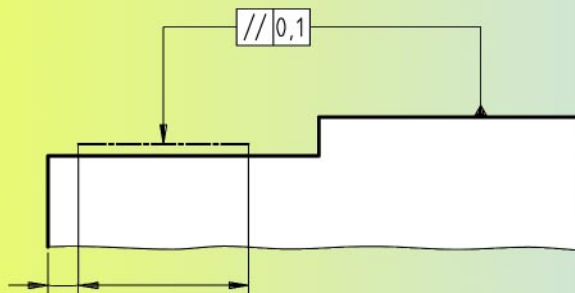


Figura 12 - Indicação de referência a uma parte delimitada.

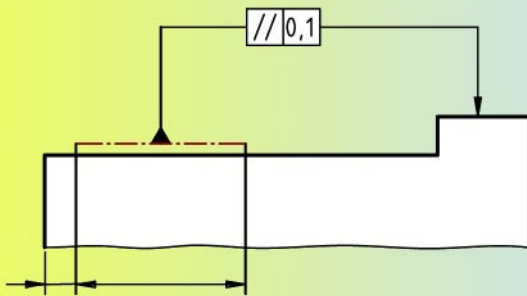


Figura 13 - Indicação de referência na parte delimitada.

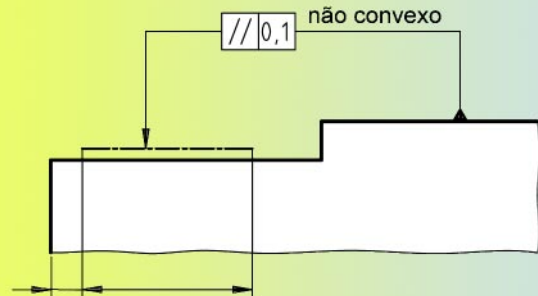


Figura 14 - Indicação de referência com restrições de forma.

Dependendo da característica tolerada e da maneira como a tolerância é indicada no desenho técnico, o campo de tolerância é caracterizado por:

## Área dentro de um círculo.

Na figura 16, o ponto de intersecção determinado pelas coordenadas "X" e "Y" admite uma tolerância circular de diâmetro "t". O detalhe ampliado do campo de tolerância ao lado indica que, para a peça ser aprovada, o ponto efetivo deve estar em qualquer posição dentro da área circular de diâmetro "t".

## Área entre dois círculos.

Neste exemplo (figura 17), o campo de tolerância é determinado pela área entre dois círculos concêntricos distantes radialmente de "t". A peça para ser aprovada deve apresentar efetivamente seu contorno dentro desta área.

## Área entre duas retas paralelas.

Na figura 18, o campo de

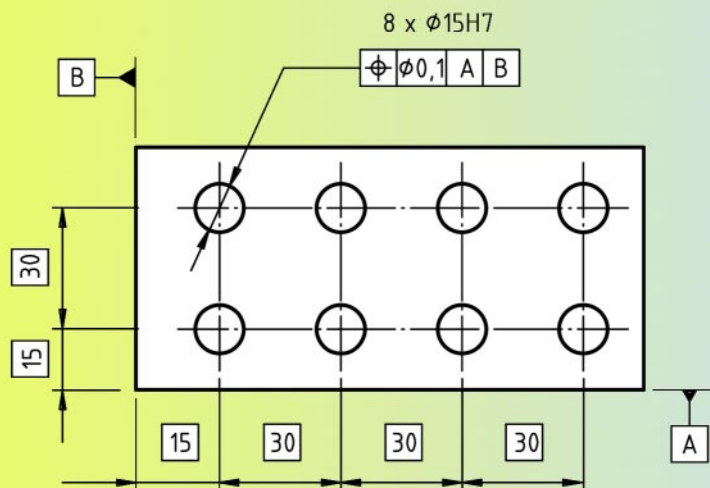


Figura 15 - Indicações de cotas básicas.

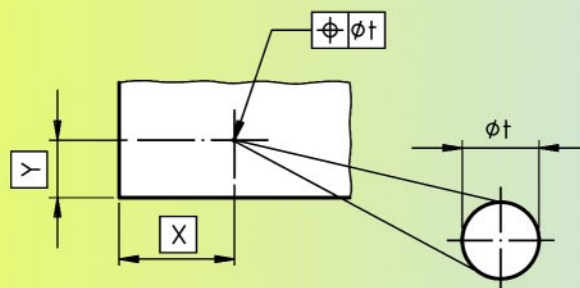


Figura 16 - Área dentro de um círculo.

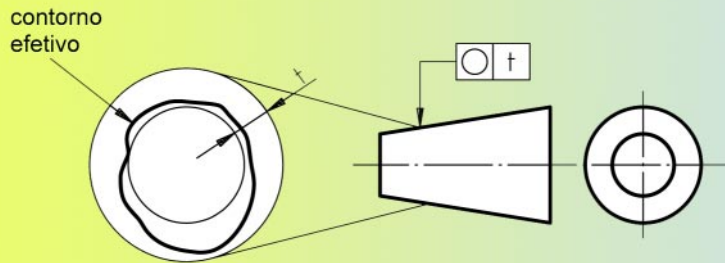


Figura 17 - Área entre dois círculos concêntricos.

tolerância de retitude  $t$  é delimitado pelas duas linhas paralelas  $r$  e  $s$ . Isso significa que a aresta tolerada, na peça pronta, deverá apresentar um perfil que não ultrapasse os limites determinados pelas duas paralelas  $r$  e  $s$ .

## Espaço dentro de um cilindro.

No exemplo da **figura 19**, o valor da tolerância precedido pelo símbolo de diâmetro indica tratar-se de um campo de tolerância cilíndrico.

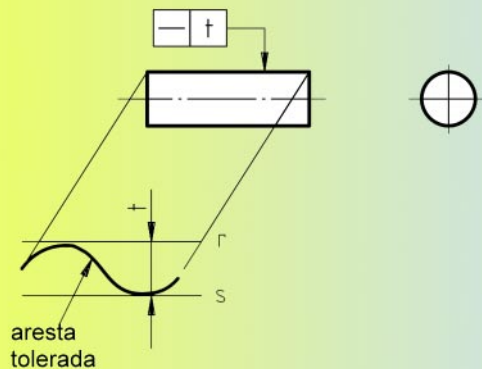


Figura 18 - Área entre duas retas paralelas.

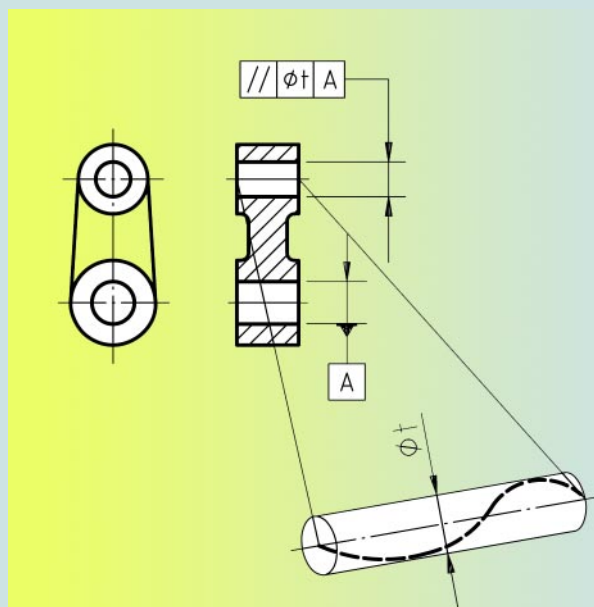


Figura 19 - Espaço dentro de um cilindro.

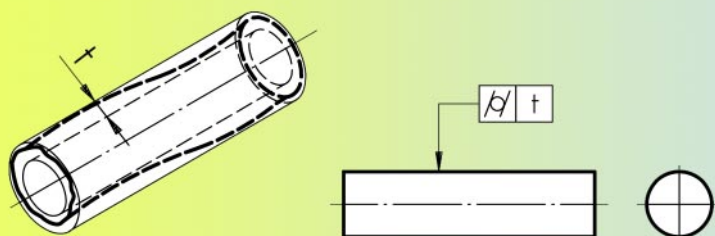


Figura 20 - Espaço entre dois cilindros coaxiais.

## Espaço entre dois cilindros coaxiais.

Neste caso (**figura 20**), o campo de tolerância tem a forma cilíndrica e corresponde à região delimitada por dois cilindros coaxiais distantes radialmente de " $t$ ". O contorno cilíndrico efetivo deve estar entre esses dois cilindros coaxiais.

## Espaço entre dois planos paralelos (**figura 21**).

Aqui o campo de tolerância  $t$  compreende a região situada entre



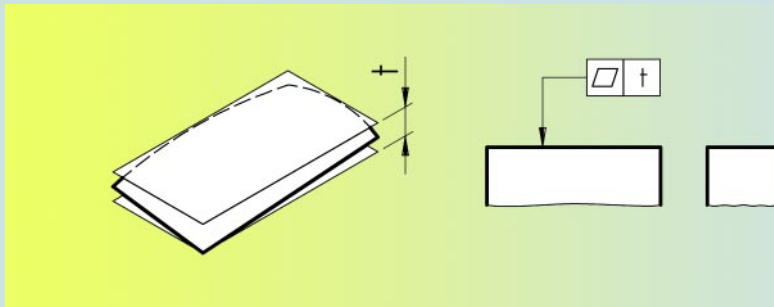


Figura 21 - Espaço entre dois planos paralelos.

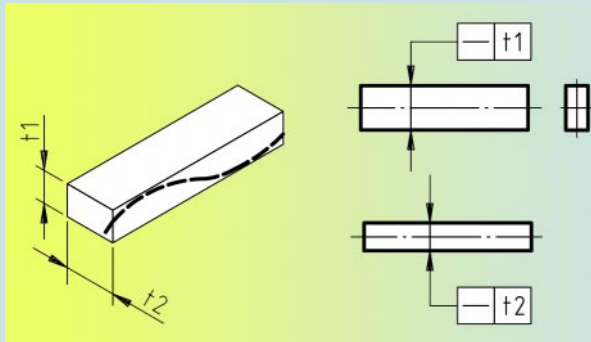


Figura 22 - Espaço dentro de um paralelepípedo.

os dois planos paralelos, eqüidistantes da superfície ideal projetada no desenho. Na peça acabada, a planeza será considerada satisfatória, se todos os pontos da superfície tolerada estiverem con-

tidos nessa região entre os dois planos.

## Espaço dentro de um paralelepípedo.

Quando um mesmo elemento é tolerado em duas direções distintas, o campo de tolerância resultante tem a forma prismática. Na peça pronta, os pontos do elemento tolerado podem situar-se em qualquer região dentro do paralelepípedo determinado por **t1** e **t2** (figura 22).

A visualização dos campos de tolerância para cada característica tolerada, é importante porque

fornece as “pistas” para determinar a forma de verificação das tolerâncias indicadas nos produtos acabados.

O entendimento do significado de cada tipo de tolerância se completa à medida em que é dada a oportunidade de visualizar a forma de verificação da característica tolerada. Por essa razão, para cada tipo de tolerância geométrica apresentada será mostrado pelo menos um método de verificação.

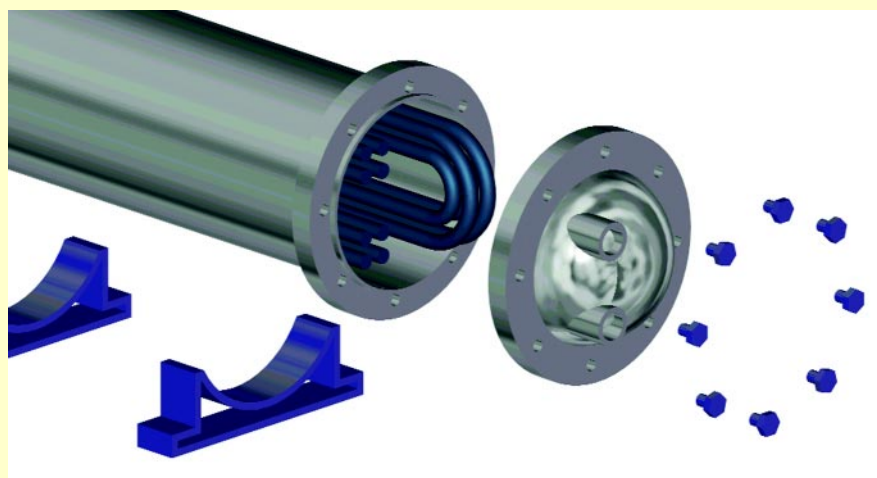
A verificação das características de tolerância geométrica pode ser feita com o uso de dispositivos relativamente simples, desde que estejam de acordo com os princípios gerais de medição e de verificação. ■

- **ERRATA:** A norma NBRISO 27G8-1: 2001 tem a classe de tolerância “C” para grosso e “V” para muito grosso, diferente do apresentado no último artigo: “g” (grosso) e “mg” (muito grosso).

## AutoCAD 3D - 5ª Parte

# Vistas ortogonais e foto-reallismo

Sérgio Eduardo Macedo Rezende



(para isso precisamos do raio de curvatura), enquanto que o *chamfer* cortará essas quinas chanfrando a peça selecionada.

Vamos utilizar primeiro o *fillet*. Assim, faça os desenhos da **figura 1** e, para acionar o comando, vá ao menu superior, clique em *Modify* e selecione a opção *fillet*. Podemos seguir os passos abaixo para obtermos a **figura 2**.

*Command: fillet*

*Current settings: Mode = TRIM, Radius = 10.0000*

**A**pós conhecer os principais comandos relacionados às superfícies e aos sólidos, este é o último artigo da série de AutoCAD 3D. Precisamos lembrar que não basta saber o que foi aqui abordado, uma vez que a prática é fundamental, pois com ela saberemos manipular as figuras tridimensionais, e os comandos serão lembrados com facilidade. Nesta parte final, vamos utilizar o *fillet* e o *chamfer 3D* e aprenderemos a criar vistas ortogonais com base em desenhos tridimensionais. Para encerrar, aplicaremos os conceitos mais importantes sobre renderização, aplicação de materiais fazendo o desenho parecer bastante real (recurso fotorrealístico) e comandos básicos de iluminação.

## FILLET E CHAMFER

Estes comandos têm função semelhante a duas dimensões. O *fillet* é utilizado para arredondar quinas

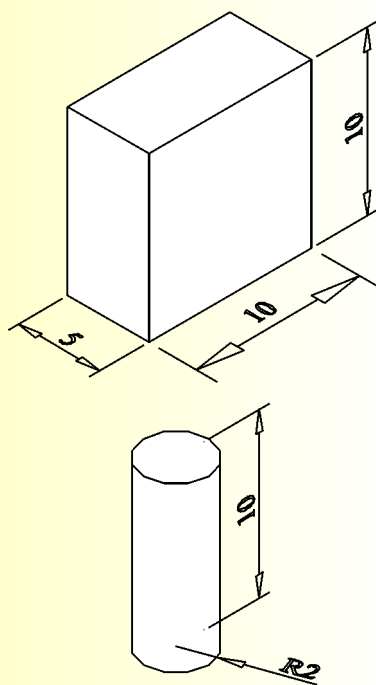


Figura 1 – Modelo para *fillet* e *chamfer*.

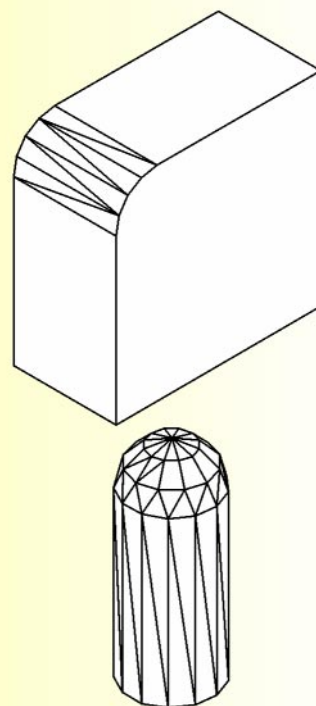


Figura 2 – Resultado do *fillet*.

Select first object or [Polyline/Radius/Trim]: (Clique na quina do bloco ou do cilindro)

Enter fillet radius <10.0000>: 2

Select an edge or [Chain/Radius]: (Dê Enter)

1 edge(s) selected for fillet.

Se nestas figuras utilizarmos um raio de, por exemplo 10, não será possível aplicar o comando, uma vez que o raio terá dimensão superior ao das figuras.

O acionamento do comando **chamfer** pode ser feito pelo menu superior, ou como mostrado abaixo, para obtermos o resultado da **figura 3**:

Command: **chamfer**

(TRIM mode) Current chamfer Dist1 = 10.0000, Dist2 = 10.0000

Select first line or [Polyline/Distance/Angle/Trim/Method]: (Clique na quina desejada)

Base surface selection...

Enter surface selection option [Next/OK (current)] <OK>: (Dê Enter)

Specify base surface chamfer distance <10.0000>: 4

Specify other surface chamfer distance <10.0000>: 8

Select an edge or [Loop]: (Clique novamente na quina)

Select an edge or [Loop]: (Dê Enter)

## PAPERSPACE E PROJEÇÕES ORTOGONAIS

Ao fazermos um desenho em três dimensões, poderá ser necessário criar suas projeções ortogonais em duas dimensões para que elas sejam cotadas e impressas. Normalmente, trabalhamos no ambiente *Modelspace* em que construímos os desenhos habituais. Para criar uma folha de desenho, precisamos converter o ambiente para a opção *Paperspace*. Primeiramente, construa o desenho da **figura 4** para usarmos como modelo, e em seguida vamos digitar o comando **solview** chegando na tela da **figura 5**.

Command: **solview**

Regenerating layout.

Enter an option [Ucs/Ortho/Auxiliary/Section]: **u** (Utilizaremos o ucs como base)

Enter an option [Named/World/?/Current] <Current>: (Dê enter)

Enter view scale <1>: 10 (Para o desenho ficar maior)

Specify view center: (Clique no meio da tela)

Podemos perceber que a figura que apareceu na tela é a vista pa-

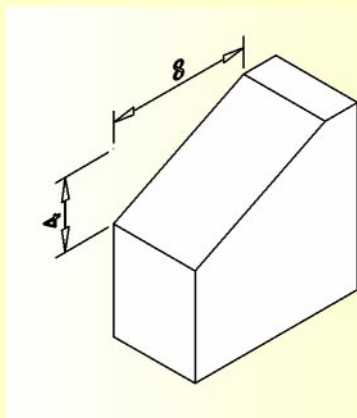


Figura 3 – Resultado do **chamfer**.

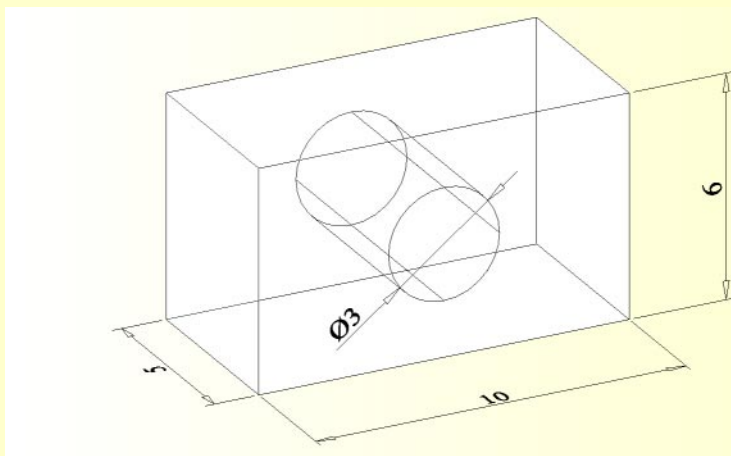


Figura 4 – Sólido para exemplo.

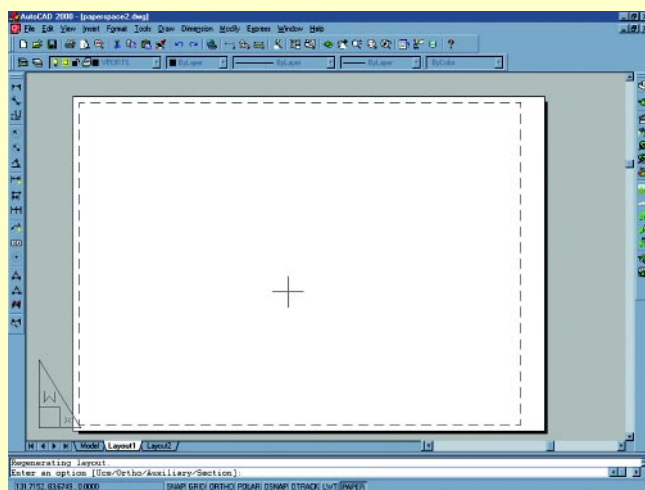


Figura 5 – Paperspace.

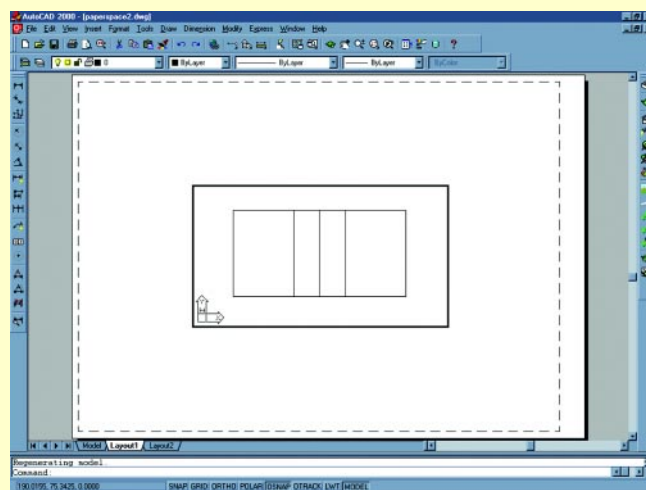


Figura 6 – Enquadrando o desenho.



ralela ao UCS, correspondendo à vista superior do desenho (figura 6).

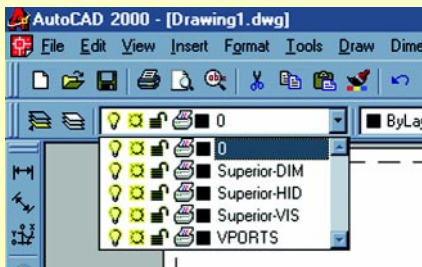


Figura 7 – Layers criados automaticamente.

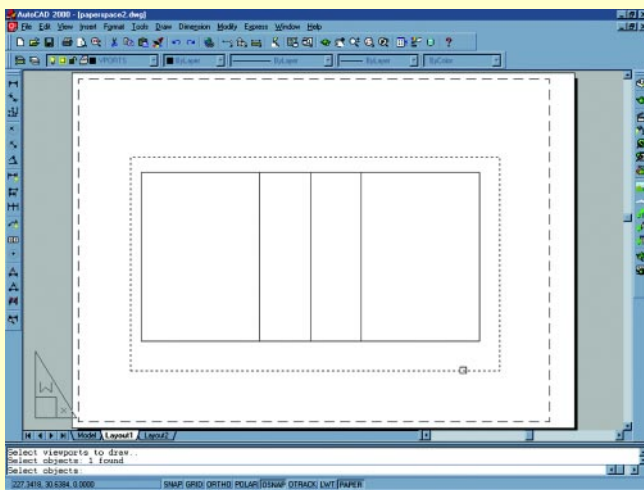


Figura 8 – Selecionando a borda.

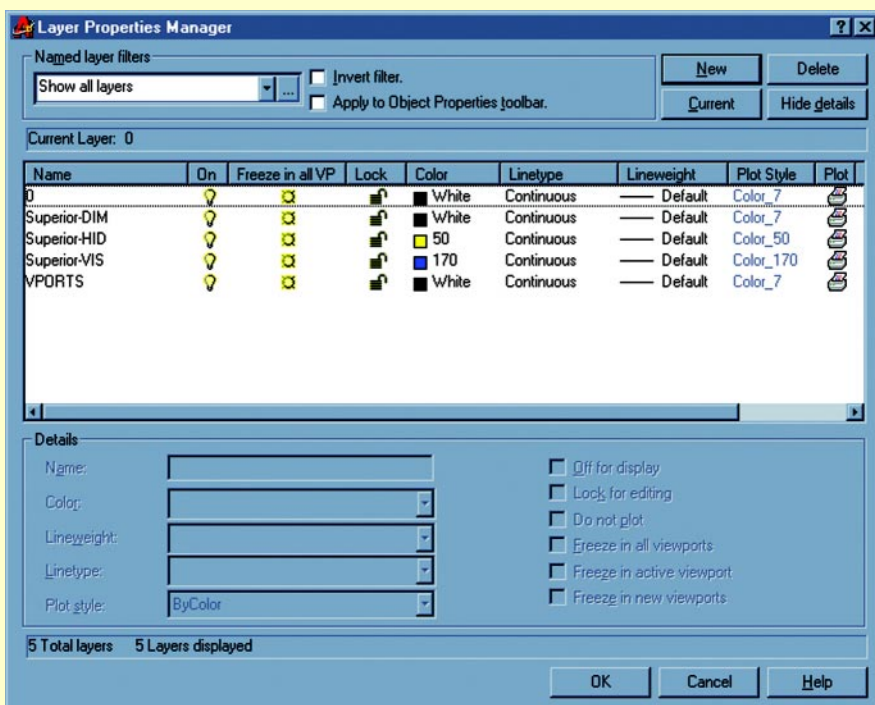


Figura 9 – Mudando as propriedades dos layers.

*Specify view center <specify viewport>: (Dê Enter)*

*Specify first corner of viewport: (Clique em um ponto inicial para enquadrar o desenho com uma borda, figura 6)*

*Specify opposite corner of viewport: (Clique em um ponto distante do inicial para encerrar o enquadramento)*

*Enter view name: Superior (Nome da vista, para diferenciar de outras que podem ser criadas)*

*UCSVIEW = 1 UCS will be saved with view*

*Enter an option [Ucs/Ortho/Auxiliary/Section]: (Dê Enter)*

Perceba que o AutoCAD criou automaticamente vários layers (figura 7). Em cada um deles iremos aplicar um recurso diferente. Ainda estamos na opção *Modelspace* que permite que posicionemos o de-

senho com outras vistas como a frontal e isométrica, bastando para isso aplicar o *vpoint* conforme desejado. Agora vamos diferenciar as linhas ocultas das visíveis, siga estes comandos:

**Command: *soldraw***

*Select viewports to draw..*

*Select objects: (Clique na borda em torno da peça, figura 8, ela ficará pontilhada)*

*One solid selected.*

*Select objects: (Dê Enter)*

**Command: *pspace*** (Para trabalhar com as vistas como em um papel)

Aparentemente, não houve mudanças, no entanto, o AutoCAD colocou as linhas ocultas no layer "Superior-HID" e as linhas visíveis no layer "Superior-VIS". No layer "Superior-Dim" podem ser colocadas as cotas do desenho.

Para observarmos os efeitos dos comandos vamos mudar algumas características destes layers afetando

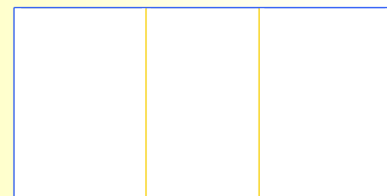


Figura 10 – Resultado final.

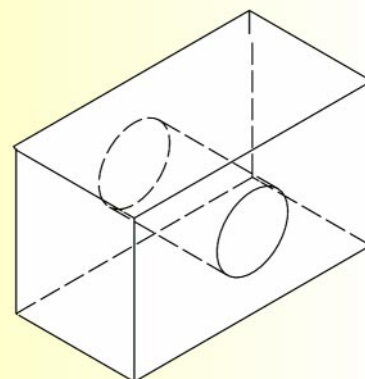


Figura 11 – Aplicando *solview* para uma vista isométrica.

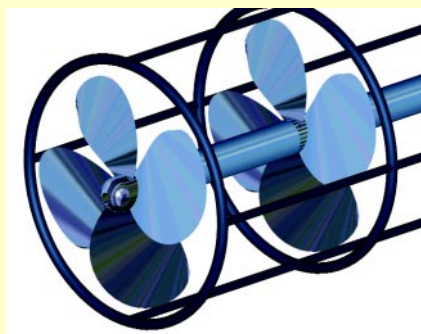


Figura 12 – Exemplo de renderização foto-realística.

do as linhas do desenho. Para isso acione o comando *layer* clicando no ícone correspondente ou digitando *layer*. Na caixa de diálogo mude a cor da linha do *layer* “Superior-VIS” e do *layer* “Superior-HID” como ilustrado na **figura 9** e veja os resultados na **figura 10**.

Podemos fazer com que as linhas invisíveis fiquem tracejadas. Basta na opção *linetype* da caixa de diálogo do *layer* escolher o tipo de linha desejado. Lembre-se que pode ser necessário mudar a escala com o comando *ltscale*. Se tivéssemos mudado o *vpoint* anteriormente para uma vista isométrica, chegaríamos à **figura 11**.

### RENDERIZANDO E APLICANDO RECURSOS FOTO-REALÍSTICOS

Finalmente, vamos colocar em prática um dos recursos mais mostrados do AutoCAD conferindo aparência melhor aos nossos desenhos. Daremos enfoque aos comandos foto-realísticos que permitem transformar um simples sólido em um objeto com o aspecto de algum material. Pode ser madeira, metal, plástico e até vidro, selecionaremos diversos tipos que farão a diferença em um projeto, veja a **figura 12**. Para complementar, utilizaremos um pouco do recurso de iluminação para dar destaque a algumas partes de nossos desenhos.

Faça um desenho simples como a mola exibida na **figura 13** para usá-la como exemplo. Quando desejamos ver nosso desenho 3D

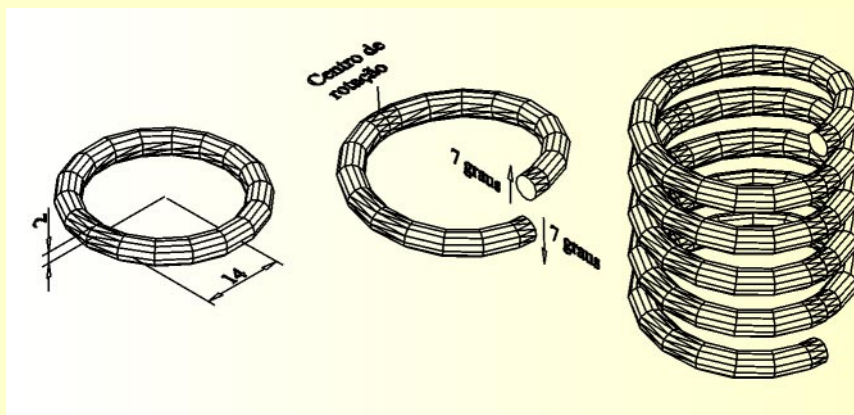


Figura 13 – Desenho para treino.

com um aspecto mais próximo do real, utilizamos o comando *render*. Para acioná-lo, clique no ícone *render* da *toolbar render* como mostrado na **figura 14**. Vamos precisar bastante desta *toolbar* para outros recursos. Assim, vá até o *menu* superior em *View*, *Toolbars...*, e destaque a *toolbar render*. Após acionarmos o *render* clicando no ícone correspondente na *toolbar* ou digitando no *menu* de comandos aparecerá a caixa de diálogo da **figura 15**. Bastará, então, clicar em *render* para vermos os resultados. O aspecto inicial do desenho poderá não ficar muito bom, mas vamos fazer isso melhorar bastante. Caso a cor não seja boa para se trabalhar, é só digitarmos o comando *ddchprop*, clicar no desenho e mudar sua cor na propriedade *color*.

Para finalizar, vamos aplicar um material no nosso desenho fazendo uso do recurso foto-realístico. Para isso, clicamos no ícone *Materials* (**Figura 16**) da *toolbar render* e veremos a caixa de diálogo da **figura 17**. Agora, precisamos carregar da biblioteca os materiais que deseja-



Figura 14 – Toolbar render.

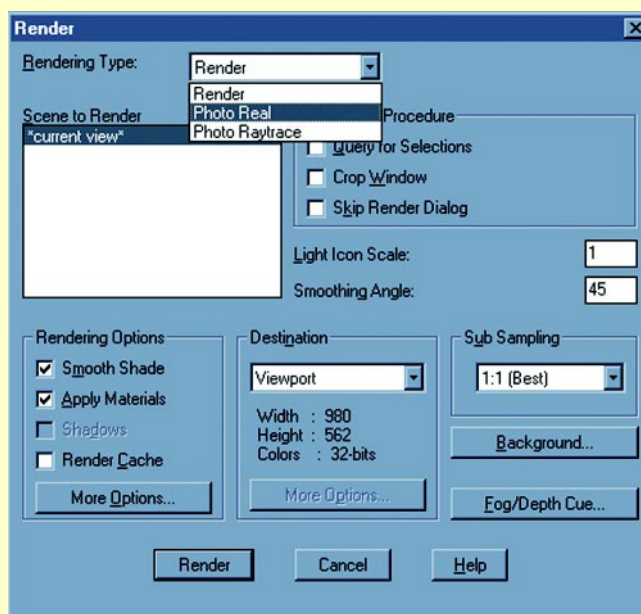


Figura 15 – Caixa de diálogo para renderização.



Figura 16 – Ícone materials.

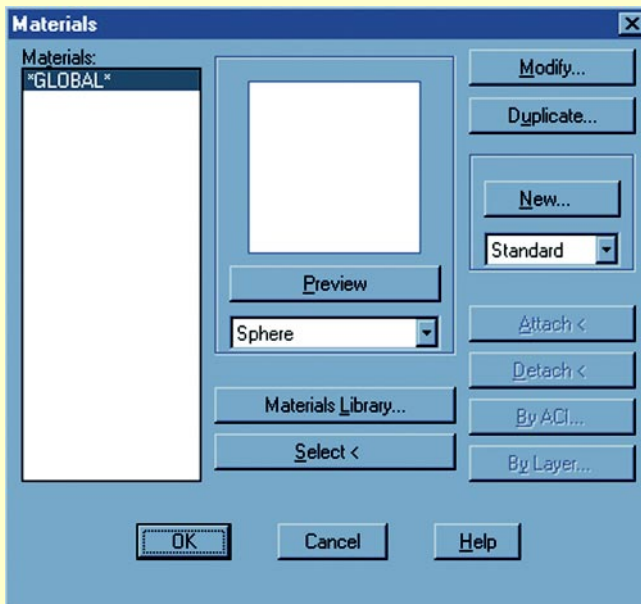


Figura 17 – Caixa de diálogo Materials.

mos clicando no botão *Materials Library*, conforme a **figura 18**. Podemos verificar que há diversos materiais disponíveis, dos quais vamos selecionar alguns que impressionam bastante. Muitas vezes, ao instalar o AutoCAD, este recurso de materiais não foi selecionado. Clique em algum material e no botão *Preview*. Se a esfera ou cubo exemplo ficar sempre verde significa que este pacote de materiais não foi instalado. Se não houver problemas, destaque, por exemplo, o material *Chrome Lake* e clique em *Import* para carregá-lo. Faça o mesmo com os materiais *Chrome Sky*, *Chrome Gifmap* e *Cyan Metalic*. Em seguida, clique em OK, para desenhos envolvendo mecanismos e peças metálicas eles serão bastante adequados.

Para que a peça fique mais destacada com os materiais a “dica” é clarear este material. Na caixa de diálogo *Materials* clique em *Chrome Lake* e no botão *Modify*, aparecerá a caixa de diálogo *Modify Standard Material*. Nela, vá em *Colors* e ajuste as barras de rolagem em 0.5 como ilustrado na **figura 19**.

O próximo passo é associar os materiais com os desenhos desejados. Podemos fazer isso de duas formas: clicando em cada compo-

mente do desenho ou associando o material a um *layer* inteiro, isto é, todas as partes que estiverem no mesmo *layer* serão do mesmo material. Como nosso desenho é simples vamos aplicar a primeira opção. Clique no material *Chrome Lake* e em seguida no botão *Attach* e selecione a mola para que ela seja deste material.

Para ver os resultados, digite *render* no menu de comandos ou pelo ícone correspondente e na caixa de diálogo *render* (**figura 15**) em *Rendering Type* selecione a opção

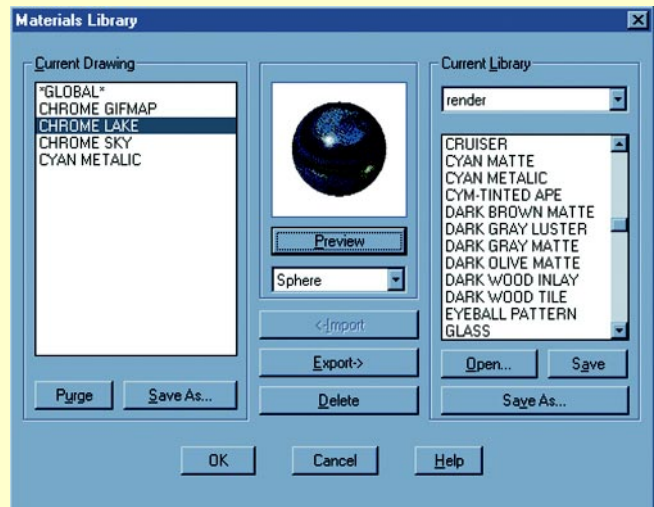


Figura 18 – Caixa de diálogo Materials Library.

*Photoreal*. Este procedimento é muito importante, caso contrário o material não será aplicado. Agora, clique em *Render* e observe os resultados na **figura 20**.

## ILUMINAÇÃO

Complementando os recursos foto-realísticos, podemos criar em nosso desenho um ambiente com luzes de diversos tipos. Vamos, aqui, dar uma introdução sobre este recurso com um exemplo prático. Siga estes passos para construir um ambiente simples nas posições indicadas:

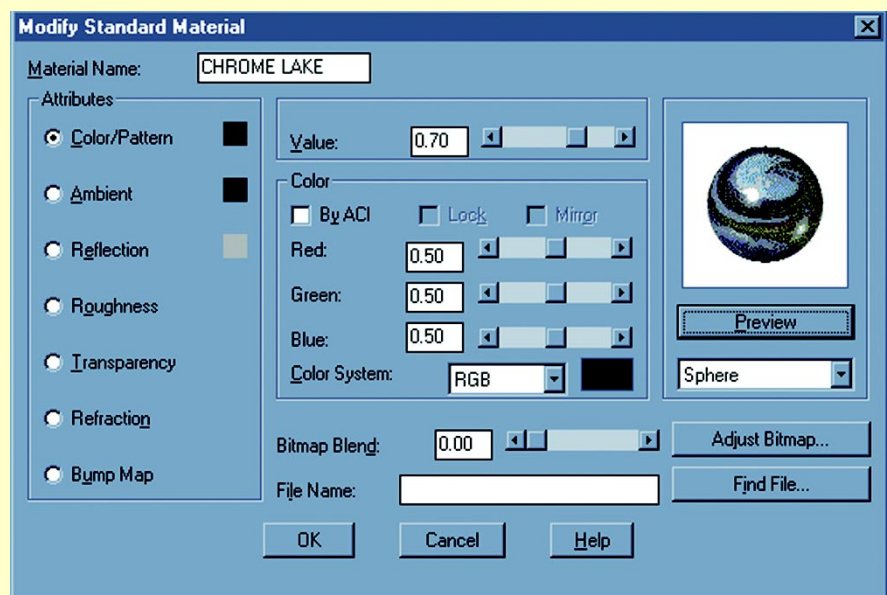


Figura 19 – Clareando o material.



Command: **vpoint**  
 Current view direction:  
 VIEWDIR=0.000 0,0.0000,1.0000  
 Specify a view point or [Rotate]  
 <display compass and tripod>: **-1,-1,1**  
 Regenerating model.  
 Command: **box**  
 Specify corner of box or [Center]  
 <0,0,0>: **0,0,0**  
 Specify corner or [Cube/Length]:  
**1**  
 Specify length: **200**  
 Specify width: **200**  
 Specify height: **5**  
 Command: **cylinder**  
 Current wire frame density:  
 ISOLINES=4  
 Specify center point for base of  
 cylinder or [Elliptical] <0,0,0>:  
**100,100,5**  
 Specify radius for base of cylinder  
 or [Diameter]: **d**



Figura 20 – Resultado final.



Figura 21 – Ícone Light.

Specify diameter for base of  
 cylinder: **20**

Specify height of cylinder or  
 [Center of other end]: **40**

Agora, configuraremos a iluminação acionando o comando de luz digitando *light* no menu de comandos ou pelo ícone correspondente (figura 21) na toolbar render. Na caixa

de diálogo *Lights* (figura 22) escolha a opção *Point Light* e clique no botão *New*. Dessa forma criaremos um novo ponto de luz na caixa de diálogo *New Point Light* (figura 23). Digite um nome no espaço *Light Name* e clique no botão *Modify* para digitarmos a posição da luz, em seguida, digite 0,200,100 no menu de comandos,

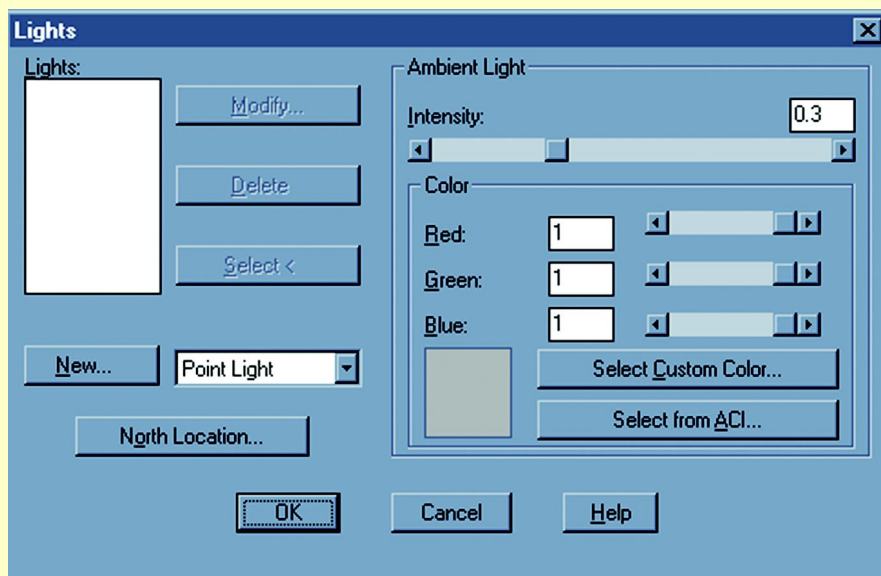


Figura 22 – Caixa de diálogo Lights.

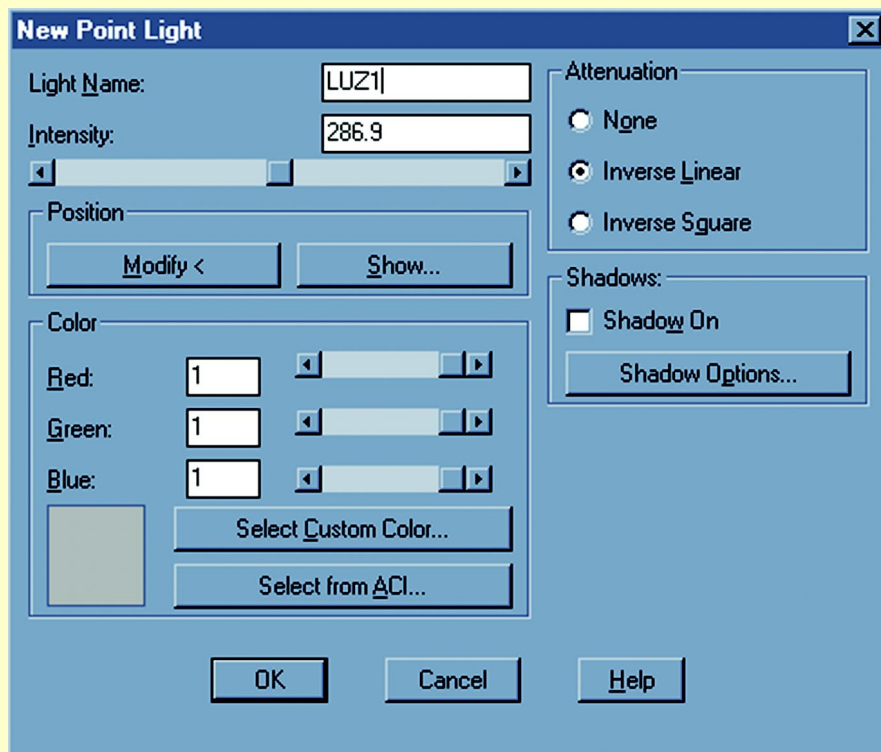


Figura 23 – Caixa de diálogo New Point Light.

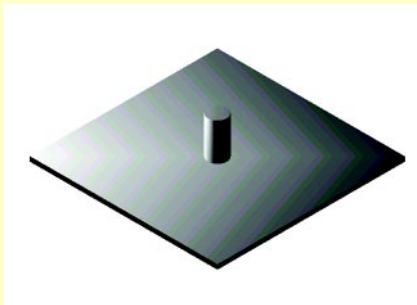


Figura 24 – Aplicação de luz pontual.

a intensidade cai até zero, digite 60. Dessa forma entre 30 graus e 60 graus haverá uma região de penumbra, acima de 60 graus não haverá spotlight, observe a **figura 26**. Digite 80 na intensidade. Clique em *Modify* para digitarmos as coordenadas do sentido da *spotlight*. Para este exemplo digite 100,100,10 para o alvo e 50,100,100 para a origem. Aplique *render* não esquecendo de colocar na opção *Photo*

*Real* para chegar nos resultados da **figura 27**.

Bem, vimos as principais características das luzes mais importantes, há diversos recursos complementares que podem ser assimilados à medida em que haja necessidade. Com certeza, para fazer um bom desenho representativo, os recursos ensinados são mais que suficientes.

Chegamos ao final da série de artigos sobre o AutoCAD 3D. Foram ensinados os principais conceitos e, para ganhar prática, é preciso desenhar peças cada vez mais complexas. Isso demanda tempo, mas os resultados serão visíveis. Quando se utiliza um recurso pela primeira vez, poderá demorar para chegar nos resultados, mas depois ficará mais fácil. Então, façam bom uso do AutoCAD, e até mais!

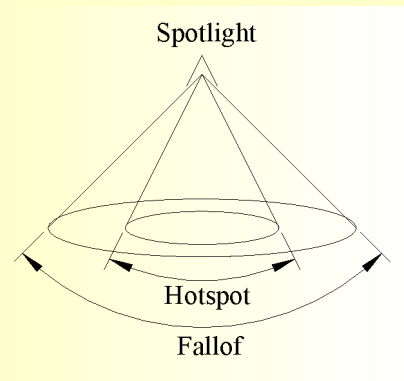


Figura 26 – Falloff e Hotspot.

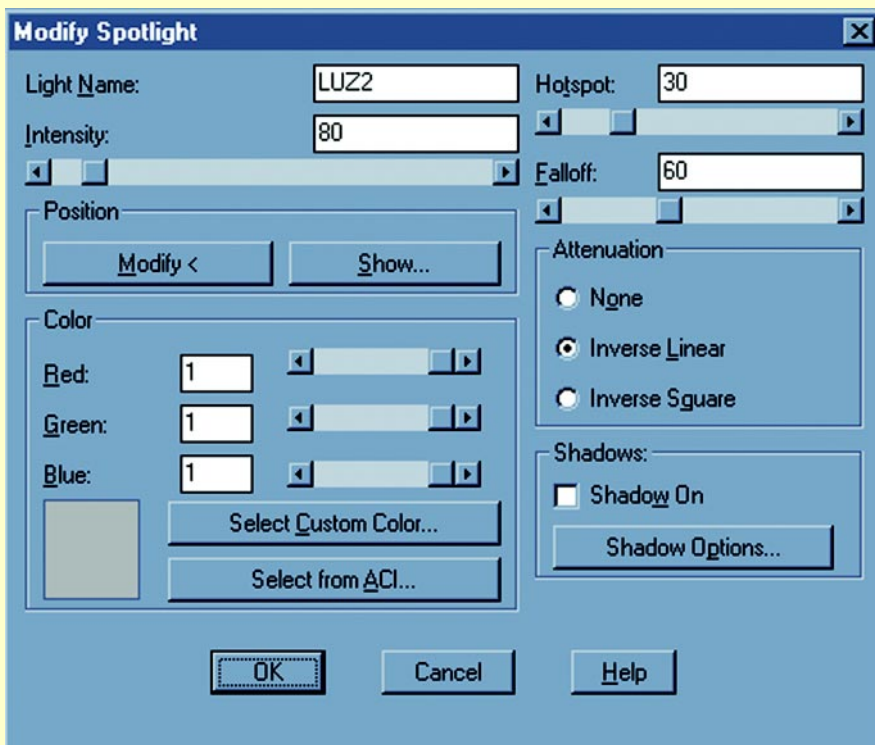


Figura 25 – Aplicação de luz Spotlight.

para posicionar a luz distante do cilindro, a intensidade luminosa pode ser em torno de 300. Clique em OK nas duas caixas de diálogo. Digite *render* e não se esqueça de colocar na opção *Photo Real* conforme explicado antes (**figura 15**) e clique no botão *render* para ver os resultados da **figura 24**.

Para encerrar, criaremos uma *spotlight*. Na caixa de diálogo *Lights* selecione a opção *Spotlight*, clique em *New* e vamos digitar o nome da nova luz (**Figura 25**). Em seguida temos a opção *Hotspot* para digitar o ângulo de abertura mais brilhante, digite 30. *Fallof* é a abertura maior, do ângulo de *Hotspot* até o de *Fallof*

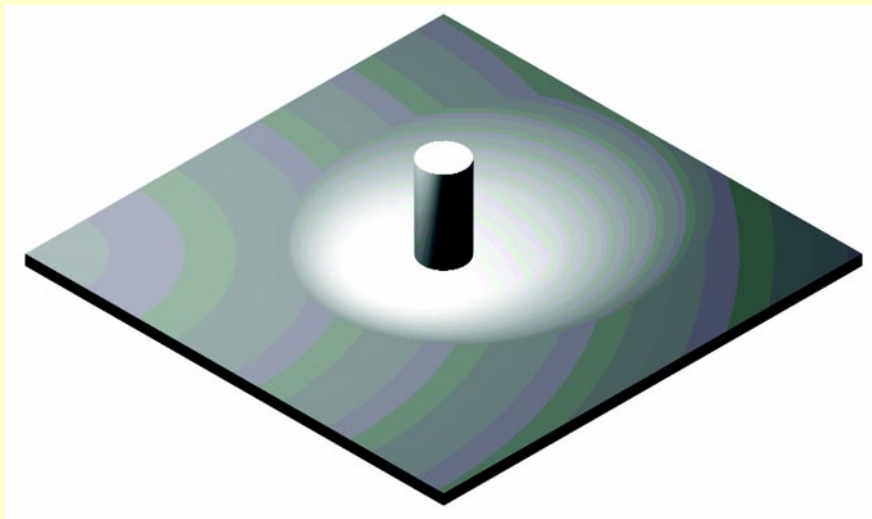


Figura 27 – Resultado do Spotlight.